

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECÁNICO DE HUMOS
PRODUCTO DE UN INCENDIO EN EL ATRIO UBICADO EN LA SEDE
BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES**

**JULIO CESAR ALBA TORRES
COD. 201721007602**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2019**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECÁNICO DE HUMOS
PRODUCTO DE UN INCENDIO EN EL ATRIO UBICADO EN LA SEDE
BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES**

**JULIO CESAR ALBA TORRES
COD. 201721007602**

Trabajo de Grado

**Profesor
Jesús Manuel Gutiérrez Bernal
Msc. Phd. Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2019**

CONTENIDO

	pág.
1. TITULO DE TRABAJO DE GRADO	12
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
2.1. ANTECEDENTES	13
2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	13
2.3. JUSTIFICACIÓN	14
2.4. ALCANCE DEL PROYECTO	15
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	16
3.1. OBJETIVO GENERAL	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1. MARCO CONTEXTUAL	17
4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	18
4.2.1. NFPA 92. Standard for Smoke Control Systems	18
4.2.2. NFPA 101. Código de Seguridad humana.	18
4.2.3. HVAC Systems duct design. SMACNA.	19
4.2.4. Handbook of Smoke Control Engineering.	19
4.3. MARCO TEÓRICO	19
4.3.1. Control de humos en atrios	19
4.3.2. Conceptos básicos.	19
4.3.2.1. Atrio.	19

4.3.2.2. Capa de humo (smoke layer).	20
4.3.2.3. Plugholing	20
4.3.2.4. Pluma de humo.	21
4.3.2.5. Pluma de humo axisimétrica (axysymmetric plume).	21
4.3.2.6. Pluma de humo tipo balcón (balcony spill plume).	22
4.3.2.7. Pluma de humo tipo ventana (window plume).	22
4.3.3. Diseño del incendio	23
4.3.3.1. Tasa de liberación de calor (Heat reléase rate HRR)	23
4.3.4. Enfoques del diseño	30
4.3.4.1. Llenado natural por el humo	30
4.3.4.2. Extracción mecánica de humo de un incendio estable	30
4.3.4.3. Extracción mecánica de humo de un incendio inestable	31
4.3.4.4. Ventilación natural de humo de un incendio estable	31
4.3.4.5. Ventilación natural de humo de un incendio inestable	31
4.3.5. Métodos de análisis	31
4.3.5.1. Ecuaciones algebraicas	32
4.3.5.2. Modelado de zonas de incendio	32
4.3.5.3. Modelación CFD	32
4.3.5.4. Modelación a escala	33
4.3.6. Comportamiento físico del humo	33
4.3.6.1. Temperatura del humo	33
4.3.6.2. Viento.	34
4.3.6.3. Estratificación.	34

4.3.6.4. Geometría irregular.	35
4.3.7. Diseño sistema mecánico de extracción de humos.	35
4.3.7.1. Dimensionamiento de los ductos.	35
4.3.8. Filosofía de funcionamiento.	39
4.3.9. Suministro de aire de renovación.	40
5. MARCO METODOLÓGICO	41
5.1. GEOMETRÍA DEL ATRIO DE LA SEDE BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES	41
5.2. CALCULO PRODUCCIÓN DE HUMO	43
5.2.1. Selección de tasa de liberación de calor en la producción de humo.	44
5.2.1.1. Tasa de liberación de calor estable.	44
5.2.1.2. Tasa de liberación de calor inestable.	44
5.2.2. Selección de escenario según tasa de producción de masa de humo.	44
5.2.2.1. Tasa de producción de masa de humo tipo axisimétrico.	44
5.2.2.2. Tasa de producción de masa de humo tipo balcón.	46
5.2.3. Cálculo de caudal de extracción de humo.	46
5.3. DISEÑO DE DUCTOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS	49
5.3.1. Planimetría del sistema de extracción de humo.	49
5.3.2. Dimensionamiento de los ductos.	49
6. CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMO	

6.1. GEOMETRÍA DEL ATRIO DE LA SEDE BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES	55
6.2. CALCULO PRODUCCIÓN DE HUMO	56
6.2.1. Selección de tasa de liberación de calor en la producción de humo.	56
6.2.1.1. Tasa de liberación de calor estable.	56
6.2.1.2. Tasa de liberación de calor inestable.	56
6.2.2. Selección de escenario según tasa de producción de masa de humo.	56
6.2.2.1. Tasa de producción de masa de humo tipo axisimétrico.	56
6.2.2.2. Tasa de producción de masa de humo tipo balcón.	57
6.2.3. Cálculo de caudal de extracción de humo.	58
6.2.4. Suministro de aire de renovación.	60
6.3. DISEÑO DE DUCTOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS	60
6.3.1. Planimetría del sistema de extracción de humo.	60
6.3.2. Dimensionamiento de los ductos.	62
6.3.3. Listado de materiales.	84
6.3.4. Filosofía de funcionamiento.	87
6.3.5. Presupuesto del sistema de extracción de humo.	89
6.3.6. Recomendaciones.	89
7. CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Foto átrio Sede Bolívar	17
Figura 2. Foto mobiliario	18
Figura 3. Interface de capa de humo	20
Figura 4. Plugholing.	20
Figura 5. Pluma de humo	21
Figura 6. Pluma de humo axisimétrica	21
Figura 7. Pluma de humo tipo balcón	22
Figura 8. Pluma de humo tipo ventana	22
Figura 9. Tasa de liberación de calor para mercancías	24
Figura 10. Etapas de desarrollo de un incendio.	24
Figura 11. Curvas de crecimiento de un incendio.	25
Figura 12. Diseño de tamaño de incendios para atrios.	27
Figura 13. Curva exponencial idealizada de HRR.	27
Figura 14. Fotografía y dimensiones de sillas apilables de estructura metálica, test 75.	29
Figura 15. Tasa de liberación de calor para sillas apilables de estructura metálica, Prueba 75. NBSIR 83-2787	29
Figura 16. Incendio en un cuarto (a) Bosquejo de un incendio de atrio, (b) Idealización de la zona de modelo del incendio del atrio.	32

Figura 17. Modelo a escala pequeña de un atrio.	33
Figura 18. Estratificación del humo	34
Figura 19. Techos irregulares	35
Figura 20. Carta de fricción para ductos redondos	37
Figura 21. Ejemplo de tabla de coeficiente de pérdida de accesorios	38
Figura 22. Ejemplo Tabla velocidad vs presión de velocidad	39
Figura 23. Sensibilidad en % de oscuración Vs distancia	39
Figura 24. Techo en domo en forma piramidal del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores	41
Figura 25. Corte del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores	42
Figura 26. Metodología para geometría del atrio	43
Figura 27. Pluma tipo balcón	46
Figura 28. Metodología para el cálculo de producción de humo	48
Figura 29. Coeficiente de fricción de codo rectangular	50
Figura 30. Tabla A-4M velocidad vs presión de velocidad	50
Figura 31. Ejemplo de tabla de coeficiente de pérdida de accesorios	51
Figura 32. Ejemplo de diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos	52
Figura 33. Selección de reforzamiento de ductos	53
Figura 34. Metodología para el diseño y selección de equipos	54
Figura 35. Datos de pluma axisimétrica en atrio sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores	55

Figura 36. Auditorio Torreón Gabriel Betancur Mejía	57
Figura 37. Puntos de ingreso del aire de renovación	60
Figura 38. Planimetría del sistema de extracción de humo a nivel del techo del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores	61
Figura 39. Isométrico del sistema de extracción de humo a nivel del techo del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores	62
Figura 40. Carta fricción sistema de extracción de humo Fundación Universitaria Los Libertadores	63
Figura 41. Tabla caída de presión ESU-153	65
Figura 42. Diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos	81
Figura 43. Selección de extractor con software CAPS Engineer 4.27	81
Figura 44. Características del extractor	82
Figura 45. Curva característica del extractor	83
Figura 46. Reforzamiento de ductos	84
Figura 47. Soportes de ductos	84
Figura 48. Ubicación detectores haz de luz y panel de detección	87
Figura 49. Ejemplo panel de control de humos con mímico	88
Figura 50. Diagrama filosófico	88

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Constantes típicas de crecimiento de un incendio	28
Tabla 2. Constante de crecimiento Prueba 75	30
Tabla 3. Velocidad de transporte de contaminantes	36
Tabla 4. Cuadro comparativo de métodos de diseño de ductos.	36
Tabla 5. Tabla de coeficiente de perdida de accesorios	75
Tabla 6. Listado de elementos	85

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1. Presupuesto sistema de extracción de humo	94
ANEXO 2. Manuales de equipos del sistema de extracción de humos	98

1. TITULO DE TRABAJO DE GRADO

PROPONENTE:	JULIO CESAR ALBA TORRES
CEDULA	74.374.284
PROGRAMA:	INGENIERÍA MECÁNICA
DIRECTOR:	ING. JESÚS MANUEL GUTIÉRREZ BERNAL
FACULTAD:	INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECÁNICO DE HUMOS PRODUCTO DE UN INCENDIO EN EL ATRIO UBICADO EN LA SEDE BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
PRESENTADO A:	COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
ÁREA:	FLUIDOS Y TÉRMICAS
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:	SISTEMAS COMPLEJOS Y APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE IMPACTO SOCIAL

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

El 2 de abril de 1973, un incendio involucró un club nocturno en el segundo piso en un hotel de 12 pisos en Rosemont, Illinois. Este incendio fue de particular interés porque expuso un atrio de 10 pisos en el centro del hotel, y aunque el daño a la propiedad fue alto, solo uno de los 1,000 invitados requirió tratamiento hospitalario. El atrio, ubicado en el medio del edificio, se llenó de humo cuando llegaron los bomberos, y la visibilidad disminuyó a 10 pies en la mayoría de las áreas. La mayoría de los bomberos fueron asignados para evitar el pánico entre los ocupantes y ayudar con la evacuación. La visibilidad fue severamente reducida, hasta el punto de oscurecer las señales de salida (Candeloro, 2016).

Otros incendios con afectación al atrio han ocurrido en el Atlanta Regency Hyatt Hotel en Atlanta, Regency Hyatt O'Hare Hotel en Chicago e International Monetary Fund Building en Washington D. C. (Buchanan y Willis, 1992).

En Colombia estos sistemas se están diseñando por parte de una empresa multinacional de diseños contra incendio "International Fire Safety Consulting" con sede en Maryland, han realizado los diseños para los sistemas de extracción de humo de:

- Torre Trump Ocean Club, Panama- 2008
- Hidroeléctrica Ituango de EPM - 2009
- Aeropuerto el dorado – 2011
- Plantas de generación hidráulicas San Francisco, Ínsula y Esmeralda de la central hidroeléctrica de caldas CHEC – 2014
- Planta de generación termoeléctrica termodorada de la central hidroeléctrica de caldas CHEC – 2014
- Diseño del sistema de extracción de humos con modelación para el edificio inteligente de EPM en Medellín – 2015
- Extracción de humos para la central Playas de EPM – 2017
- Diseño del sistema de extracción de humos de las centrales de generación eléctrica de ENEL – EMGESA (Betania, Charquito, Darío Valencia, Guaca, Guavio, Laguneta, Muña, Paraíso, Quimbo, Rionegro, Salto II y Tequendama) – 2018

2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores, tiene una altura de 18,62 m, lo que hace inviable implementar un sistema de rociadores automáticos ya que la temperatura del humo es menor a 57°C (135 °F) y este no posee la cantidad de calor necesaria para hacer funcionar el elemento fusible.

Los rociadores automáticos tienen un rango de acción limitado dependiendo la altura del recinto, esta varía entre 6.1 m (20 ft) y una altura máxima de 18 m (60 ft) (Gagnon, 2005), La probabilidad de activación en una altura hasta 9,1 m (30 ft) es bastante alta y va disminuyendo considerablemente después de los 15,2m (50 ft) (Klote, 2012, p. 331).

Las concentraciones peligrosas de humo en un incendio ocasionan problemas al momento de la evacuación de los ocupantes del recinto, esto es producido por la toxicidad y la disminuida visibilidad que ocasiona el humo producto del incendio. El humo es el mayor asesino en incendios de edificios (Klote, 2012, p. 171). La complejidad en controlar un incendio y el humo producido en el atrio, genera un problema de seguridad humana que puede ocasionar la muerte de muchos ocupantes.

¿Qué sistema de protección activa se puede implementar en el atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores para controlar los humos productos de un incendio, que garanticen una altura libre de humo en las rutas de evacuación?

2.3. JUSTIFICACIÓN

Los rociadores automáticos son el sistema que actualmente ha salvado más vidas en incidentes con incendios, pero se ha determinado que los rociadores no son efectivos después de cierta altura como la que comúnmente se encuentra en un atrio.

En los atrios la capacidad de los rociadores para extinguir incendios en espacios con techos con alturas entre 9,1 y 15,2 m es limitada. Debido a que la temperatura del humo disminuye a medida que aumenta la altura del techo (debido al arrastre del aire ambiente), el humo puede no estar lo suficientemente caliente como para activar el rociador montado debajo del techo de un atrio (Klote, 1994), esta es la razón por la cual se hace importante la implementación de un sistema de extracción mecánico de humos en un atrio donde el objetivo principal es buscar mantener un ambiente libre de humo el mayor tiempo posible para garantizar un tiempo de evacuación suficiente y un ambiente libre de humo para que los bomberos o el equipo de emergencias hagan el control del incendio sin comprometer su seguridad.

La sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores es un espacio que cumple con las características de atrio y según la National Fire Protection Association (NFPA) 101: 8.6.7 se permite tener atrios cuando se cumpla con separación con barreras cortafuego de resistencia mínima de 1 hora con protección de aberturas para los muros de los corredores a menos que cumpla con uno de los siguientes:

- ✓ Se permite paredes de vidrio y ventanas en vez de barreras cortafuego cuando exista rociadores espaciados a 6 pies (1,83m) y protegidos a ambos lados de los vidrios.
- ✓ Las paredes de vidrio son en vidrio templado, vidrio armado o vidrio laminado, sostenido por un sistema de empaques que permitan la deflexión del vidrio.
- ✓ La clasificación de contenidos cumple con especificaciones de contenido de riesgo leve u ordinario.
- ✓ La totalidad del edificio esté protegido por un sistema aprobado y supervisado de rociadores automáticos.
- ✓ Se demuestre por un análisis de ingeniería (Método prescriptivo NFPA 92) que el edificio está diseñado para mantener la interfaz de la capa de humo por encima de la abertura más alta sin protección o 1.83m por encima del nivel del piso más alto de acceso a la salida y que se mantenga por un tiempo de 1.5 veces el tiempo de egreso calculado o 20 minutos.
- ✓ Para cumplir con lo anterior se instale un sistema de control de humo desarrollado mediante ingeniería.

2.4. ALCANCE DEL PROYECTO

El principal alcance del proyecto es diseñar el sistema de extracción mecánico de humos para garantizar un ambiente seguro y el tiempo suficiente para la evacuación de todos los ocupantes del atrio de la sede bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores. No se va a construir el sistema dentro del desarrollo de este proyecto.

3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de extracción mecánico de humos en el atrio de la sede Bolívar de la Fundación universitaria Los Libertadores.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la energía calórica de un incendio producido en el atrio de la sede Bolívar del Fundación universitaria Los Libertadores
- Determinar la capacidad de extracción, cantidad de rejillas, dimensiones y ubicación en el atrio de la sede Bolívar de la Fundación universitaria Los Libertadores.
- Diseñar el sistema de extracción mecánico de humos producto de un incendio (dimensión de ductos, selección de dámper, rejillas, extractores y suministro de aire de renovación).
- Establecer protocolos de activación y funcionamiento del sistema de extracción de humos.
- Elaborar las memorias de cálculo, planos de detalle y presupuesto del sistema de extracción de humos.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO CONTEXTUAL

La fundación Los Libertadores cuenta con una planta física de más de 60.000 metros cuadrados totales, distribuidos en 14 edificios que se ubican en una misma zona de la ciudad de Bogotá. Con una población estudiantil de más de 10.000 estudiantes, el desarrollo de la infraestructura es una prioridad para la Institución, que ha realizado grandes avances durante sus últimos años.

El espacio principal de Los Libertadores es la sede Bolívar (carrera 16 # 63a – 68), edificio inaugurado en 1997. Este es el centro de la actividad diaria en la Institución, debido a su ubicación estratégica y a que alberga la mayor cantidad de aulas para clases. Cuenta con un espacio para eventos masivos -su plazoleta- y el Auditorio Jaime Betancur Cuartas, que ha recibido a grandes figuras de la vida pública nacional (FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, 2018).

La plazoleta de la sede Bolívar es un espacio constituido por cinco (5) pisos con una altura de 18,62 m, con dos escaleras abiertas ubicadas en cada uno de los extremos del atrio, los terminados del atrio son en materiales incombustibles como son, mamposterías, ladrillo, cemento, etc. ver Figura 1.

Figura 1. Foto átrio Sede Bolívar



Fuente: Elaboración propia

El mobiliario utilizado en este espacio es de material plástico, elementos altamente combustibles. Ver Figura 2.

Figura 2. Foto mobiliario



Fuente: Elaboración propia

4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

4.2.1. NFPA 92. Standard for Smoke Control Systems El propósito de la NFPA 92 es mantener todas las vías de evacuación a las salidas libres de humo y reducir la migración de humos a otros recintos (NFPA 92: 1.2.1) para permitir a los ocupantes hacer una evacuación segura. Los objetivos de la NFPA 92: 4.1.2* son:

- Mantener un ambiente sostenible dentro de todos los accesos a salidas y rutas a las áreas de refugio por el tiempo necesario que permita a los ocupantes alcanzar las salidas o las áreas de refugio.
- Mantener la interfaz de capa de humo a una altura predeterminada.
- Permitir suficiente visibilidad a los bomberos para acercarse, localizar y extinguir el incendio.
- Limitar el aumento de la temperatura en la capa de humo, la concentración de humo, y limitar la reducción de visibilidad.

Esta norma es reconocida internacionalmente como la norma más aceptada para brindar un adecuado nivel de protección contra incendio, en lo referente al manejo del humo, en este tipo de espacios.

4.2.2. NFPA 101. Código de Seguridad humana. Esta norma establece los criterios mínimos para lograr una adecuada seguridad en cualquier ocupación. Desde el punto de vista de la seguridad humana, la normativa NFPA establece una altura mínima de 1,83 m libre de humo sobre la superficie transitable del acceso a salida más elevado o sobre las aberturas no protegidas, durante un

150% del tiempo necesario para realizar la evacuación del edificio, con un mínimo de 20 minutos.

4.2.3. HVAC Systems duct design. SMACNA. (Sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción, HVAC por sus siglas en inglés) Este manual de diseño de sistemas de ductos para ventilación y extracción de aire en sistemas de aire acondicionado es la guía que a nivel mundial se utiliza para el diseño de los ductos de los diferentes sistemas de aire acondicionado.

4.2.4. Handbook of Smoke Control Engineering. Este Handbook tiene de una forma más clara los parámetros de diseño para el cálculo de los sistemas de extracción de humos.

4.3. MARCO TEÓRICO

4.3.1. Control de humos en atrios El principal problema en el área de circulación es el humo. Este humo hay que detectarlo rápidamente (por un sistema de detección moderno y eficaz), manejarlo y extraerlo eficientemente (con un sistema de manejo de humo bien diseñado).

En atrios, el control de humos se debe realizar con un análisis de ingeniería, con el objetivo de mantener la interfaz de capa de humo a 1,83 m (6 ft) por encima del nivel del piso más alto ocupable. El sistema debe estar operativo mínimo 1.5 veces el tiempo de egreso calculado de los ocupantes o 20 minutos, el que sea mayor. (NFPA 101, 2018, pág. 103)

Para lograr esto se debe instalar un sistema de control de humo desarrollado mediante ingeniería. El sistema se debe activar independientemente por los siguientes métodos: Sistema de rociadores o por el control manual de humos con fácil acceso al departamento de bomberos

4.3.2. Conceptos básicos. Para el entendimiento de los sistemas de extracción de humo, se requiere tener conocimiento de algunos conceptos.

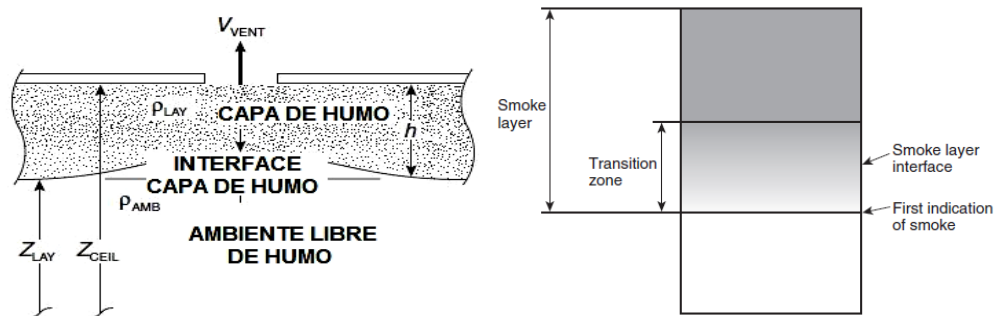
4.3.2.1. Atrio. Espacio de gran volumen creado por una abertura o serie de aberturas que conecta dos o más pisos que se encuentran cerrado en el extremo superior y utilizado para fines diferentes a escaleras encerradas, foso de ascensores, ductos de instalaciones eléctricas u otras. Este es un espacio no compartimentado, generalmente de dos o más pisos, dentro del cual el

humo de un incendio puede moverse y acumularse sin ninguna restricción. (NFPA 92, 2018)

4.3.2.2. Capa de humo (smoke layer). Es: el espesor de humo acumulado debajo de una barrera física o térmica.

El límite teórico entre la capa de humo y el aire libre de humo es la interfase de capa de humo.

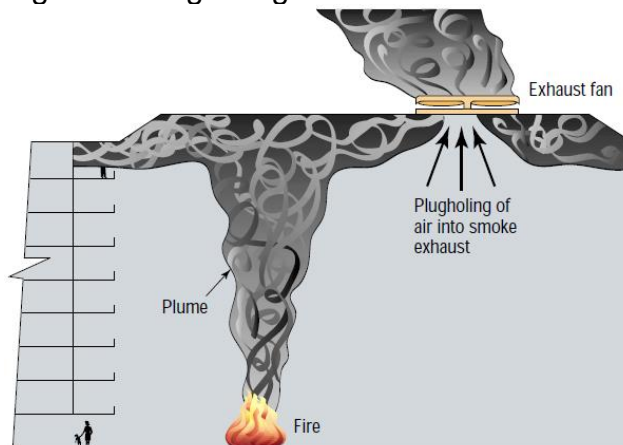
Figura 3. Interface de capa de humo



Fuente: Handbook of Smoke Control Engineering

4.3.2.3. Plugholing Condición donde el aire debajo de la capa de humo es jalado a través de esta al interior de las entradas de la extracción de humo debido al alto caudal de extracción de aire.

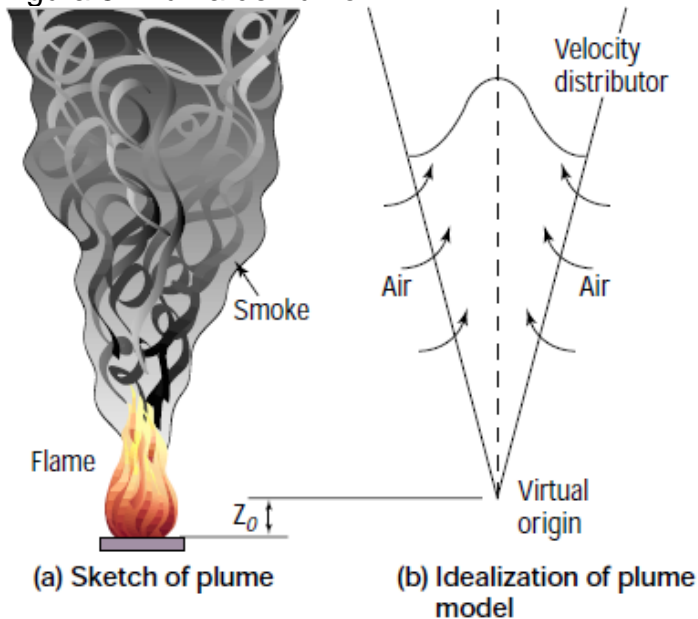
Figura 4. Plugholing.



Fuente: Revista Fire protection Engineering

4.3.2.4. Pluma de humo. Columna de humo que se eleva sobre el incendio, las entradas de masa aire a la columna de humo se incrementan con la altura y la temperatura.

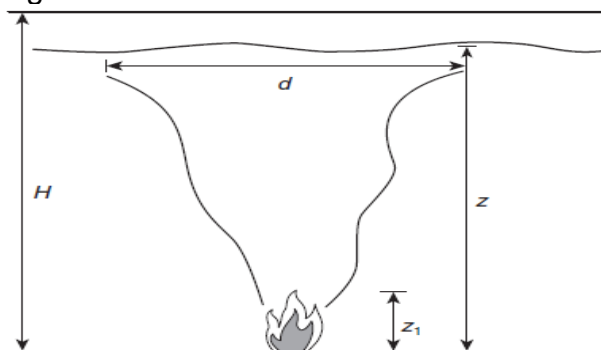
Figura 5. Pluma de humo



Fuente: Revista Fire protection Engineering

4.3.2.5. Pluma de humo axisimétrica (axysymetric plume). Pluma que se eleva por encima de un fuego, y no entra en contacto con la pared u otros obstáculos, y no es interrumpida o desviada por el flujo de aire.

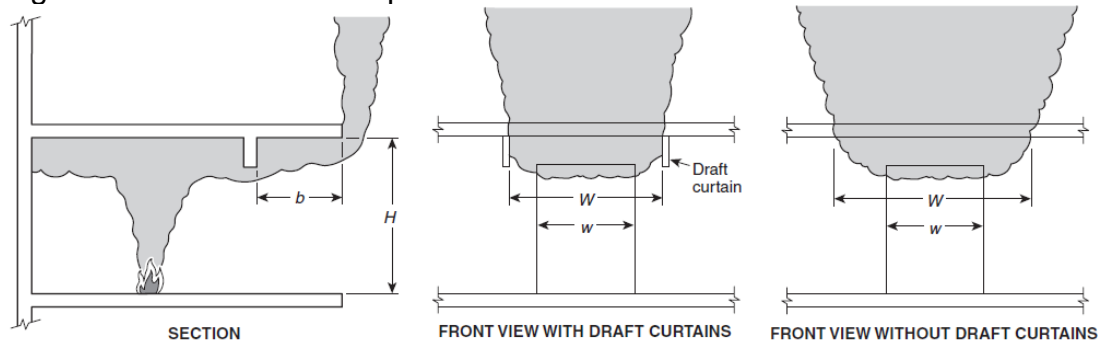
Figura 6. Pluma de humo axisimétrica



Fuente: NFPA 92

4.3.2.6. Pluma de humo tipo balcón (balcony spill plume). Pluma de humo que se origina en un compartimiento, sale por una abertura y fluye por debajo de un balcón hacia arriba.

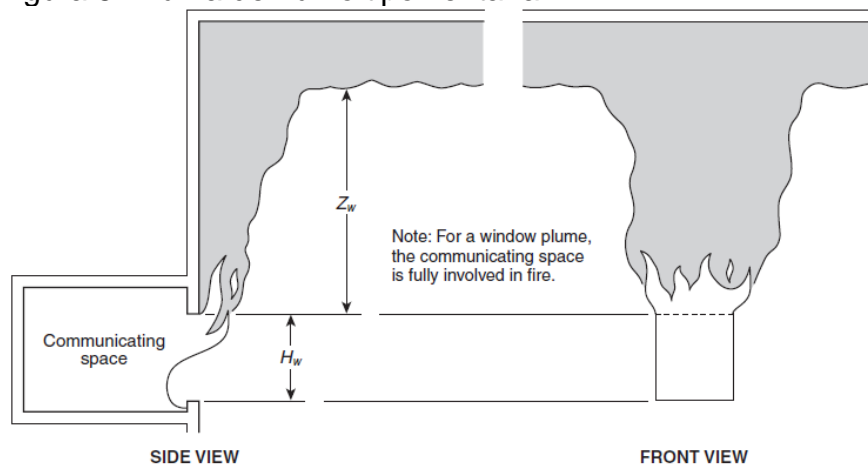
Figura 7. Pluma de humo tipo balcón



Fuente: NFPA 92

4.3.2.7. Pluma de humo tipo ventana (window plume). Pluma que sale de una abertura de una habitación completamente en llamas a otro compartimento que está involucrado en un incendio y tiene una ventilación limitada.

Figura 8. Pluma de humo tipo ventana



Fuente: NFPA 92

4.3.3. Diseño del incendio Comúnmente, los incendios fijos se usan como incendios de diseño, porque simplifican los cálculos de diseño. Por naturaleza, el fuego es un proceso inestable. Cuando los incendios de diseño constante se basan en datos de prueba, generalmente se acepta que la tasa de liberación de calor "*Heat reléase rate*" (HRR por sus iniciales en inglés) del fuego constante se toma como la HRR máxima de los datos de prueba (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 149)

No hay que subestimar el tamaño del incendio de diseño, hay que tener en cuenta:

- Cambios en el uso del espacio (Ej. Plazoleta, espacio para eventos, tránsito regular de personas, etc.)
- Combustibles transitorios (Canecas de basura, muebles fijos, sillas plástico para eventos, pancartas publicitarias con mesas, etc.)

Puede que no sea práctico diseñar sistemas para usos que excedan en gran medida el uso planificado, pero los incendios de diseño deben tener en cuenta los combustibles transitorios que se analizan. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 149).

4.3.3.1. Tasa de liberación de calor (Heat reléase rate HRR) Las características que mejor describe cuantitativamente "¿Qué tan grande es un incendio?" Es la tasa de liberación de calor (HRR). Esta variable es la más importante en un diseño de un incendio, su unidad es en kilovatios (kW) o (Btu/s) (DINENNO, y otros, 2002, pág. 535).

En principio, el calor efectivo de combustión se puede determinar por teoría o por prueba. En la práctica, el calor efectivo de la combustión no es una constante, las técnicas experimentales normalmente implican medir directamente la HRR (DINENNO, y otros, 2002, pág. 535).

4.3.3.1.1 Tasa de liberación de calor por unidad de área. Este enfoque para determinar un incendio de diseño es riguroso, y debe reservarse principalmente como una verificación de los incendios basados en diseños con enfoques más realistas. Este cálculo se realiza estimando el área de diseño del incendio multiplicándola por una densidad de liberación de calor, esto para obtener la HRR, Morgan y otros (1999) sugieren en espacios comerciales protegidos por rociadores HRR de 280 a 650 kW / m² (25 a 57 Btu / s*ft²), para ocupaciones con oficinas protegidos con rociadores automáticos sugieren 270 kW / m² (24 Btu / s*ft²). Para ocupaciones con bibliotecas protegidas con rociadores automáticos se sugiere de 150 a 650 kW / m² (13 a 57 Btu / s*ft²).

Un incendio que ocurre a más de 9.3 m² (100 ft²) de área se ha utilizado a menudo para estimar incendios de diseño. Para aplicaciones de control de humo, se puede considerar una densidad de liberación de calor de 230 kW / m² (20 Btu / s*ft²) para un espacio donde los elementos combustibles principales serían transitorios. Al usar esta área de incendio y la densidad de liberación de calor, se generaría un incendio de diseño de 2100 kW (2000 Btu / s), también se puede considerar un valor de 650 kW / m² (57 Btu / s*ft²) para espacios con muebles u otros materiales combustibles, y usar esto con el área del incendio anterior da como resultado un incendio de diseño de 6050 kW (5700 Btu / s). La densidad de tasa de liberación de calor para algunos materiales se lista en la Figura 9. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, págs. 150-151).

Figura 9. Tasa de liberación de calor para mercancías

Table B.5.2(a) Unit Heat Release Rate for Commodities

Commodity	Btu/sec · ft ² of Floor Area	kW/m ² of Floor Area
Wood pallets, stacked 1½ ft high (6–12% moisture)	125	1,420
Wood pallets, stacked 5 ft high (6–12% moisture)	350	4,000
Wood pallets, stacked 10 ft high (6–12% moisture)	600	6,800
Wood pallets, stacked 16 ft high (6–12% moisture)	900	10,200
Mail bags, filled, stored 5 ft high	35	400
Cartons, compartmented, stacked 15 ft high	150	1,700
PE letter trays, filled, stacked 5 ft high on cart	750	8,500
PE trash barrels in cartons, stacked 15 ft high	175	2,000
PE fiberglass shower stalls in cartons, stacked 15 ft high	125	1,400
PE bottles packed in compartmented cartons	550	6,200
PE bottles in cartons, stacked 15 ft high	175	2,000
PU insulation board, rigid foam, stacked 15 ft high	170	1,900
PS jars packed in compartmented cartons	1,250	14,200
PS tubs nested in cartons, stacked 14 ft high	475	5,400
PS toy parts in cartons, stacked 15 ft high	180	2,000
PS insulation board, rigid foam, stacked 14 ft high	290	3,300
PVC bottles packed in compartmented cartons	300	3,400
PP tubs packed in compartmented cartons	390	4,400
PP & PE film in rolls, stacked 14 ft high	550	6,200
Methyl alcohol	65	740
Gasoline	200	2,300
Kerosene	200	2,300
Diesel oil	175	2,040

For SI units, 1 ft = 0.305 m.

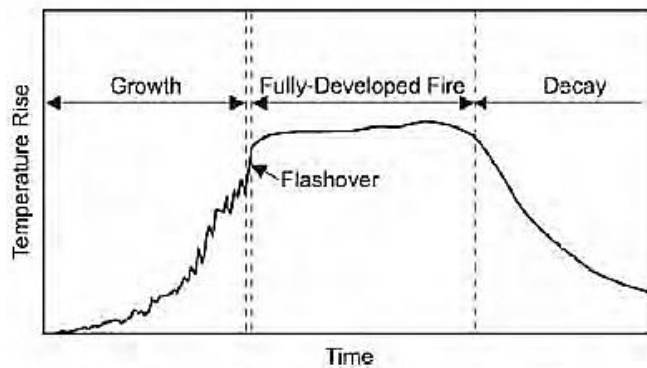
PE: Polyethylene. PP: Polypropylene. PS: Polystyrene. PU: Polyurethane. PV: Polyvinyl chloride.

Note: Heat release rate per unit floor area of fully involved combustibles, based on negligible radiative feedback from the surroundings and 100 percent combustion efficiency.

Fuente: NFPA 92 (2018) Standard for Smoke Control Systems

4.3.3.1.2 Etapas de desarrollo de un incendio. Los incendios tienen un proceso de desarrollo que se divide en cuatro etapas (Ver Figura 10). Estas son (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012):

Figura 10. Etapas de desarrollo de un incendio.

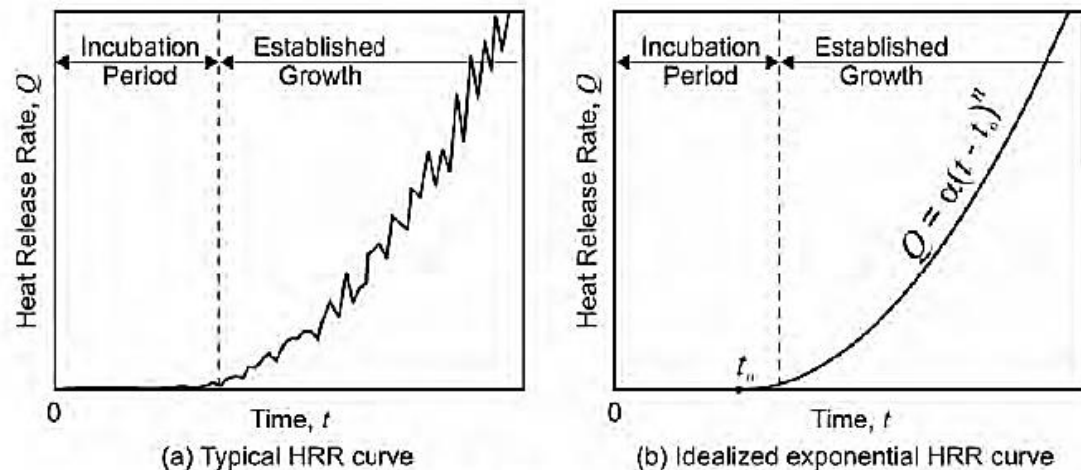


Fuente: Handbook of smoke control engineering

1. **Crecimiento (Growth).** Esta sigue la ignición, Es la primera etapa en el desarrollo de un incendio, se caracteriza por la abundancia de aire para el incendio. Durante esta etapa de crecimiento, el fuego se propaga de un objeto a otro. Durante la etapa de crecimiento, las llamas son pulsantes, y la columna y capa de humo están en un estado de turbulencia. Incluso con este movimiento, el crecimiento de este tipo de fuego a menudo parece gradual. El fuego se propaga por convección, radiación o por ambos.

La curva HRR en la etapa de crecimiento puede tomar muchas formas dependiendo de la quema del objeto. La Figura 11a muestra una curva de crecimiento fluctuante que tiene una tendencia creciente, y este tipo de etapa de crecimiento se puede representar mediante la curva exponencial que se muestra en la Figura 11. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 151)

Figura 11. Curvas de crecimiento de un incendio.



Fuente: Handbook of smoke control engineering

2. **Flashover.** Cambio rápido de un incendio en etapa de crecimiento a un incendio completamente desarrollado. El flashover es una excepción a la mayoría de los procesos tratados en ingeniería que son graduales.

La ignición se debe principalmente a la propagación del fuego por la radiación térmica. Esta radiación proviene de las llamas, la columna de humo y la capa de humo caliente debajo del techo. Los materiales finos y fáciles de encender (periódicos, cortinas, etc.) cerca del fuego son los primeros en arder en llamas, y esto es seguido por la ignición del resto de los materiales.

Al final del flashover, las llamas generalmente se extienden desde las puertas o ventanas abiertas del recinto incendiado. La ignición en general ocurre cuando la capa de humo está en el rango de 500 ° C a 700 ° C (930 ° F a 1300 ° F) (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, págs. 153-154)

3. **Incendio completamente desarrollado (Fully developed fire).** Un incendio completamente desarrollado también se llama incendio controlado por ventilación, porque la HRR depende de la cantidad de aire que ingresa al incendio. Durante un incendio completamente desarrollado, las llamas generalmente se extienden desde las puertas o ventanas abiertas del recinto incendiado. Estos se caracterizan por una combustión ineficiente que resulta en una alta producción de CO. En una habitación con un incendio completamente desarrollado, todo lo que puede arder se está quemando. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 154)
4. **Decadencia del incendio.** Disminución de la HRR, que es el resultado del consumo de combustible o la supresión del incendio. A medida que se consume el combustible, el fuego puede cambiar de ventilación controlada a combustible controlado. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 154)

4.3.3.1.3 Incendios estables. Los combustibles transitorios no deben pasarse por alto al seleccionar un incendio de diseño. El enfoque sugerido por (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012) para incorporar combustibles transitorios en un incendio de diseño es considerar el incendio que se produce sobre 9.3 m² (100 pies²) de área del recinto. Esto resulta en un incendio de diseño de 2000 kW (1900 Btu / s) para atrios con restricción de material combustible. Si se produjera un incendio de más de 9,3 m² (100 pies²) de un atrio con combustibles, se generaría un incendio de diseño de 4600 kW (4400

Btu / s). Un gran incendio en el atrio de 25 000 kW (23 695 Btu / s) implicaría un área de 50 m² (540 pies²) a 500 kW / m² (44 Btu / s * pies²). Estos incendios de diseño constante se ven en la En este documento, la discusión sobre incendios de diseño constante se centrará en los que figuran en la tabla 1. (KLOTE J. , 1994)

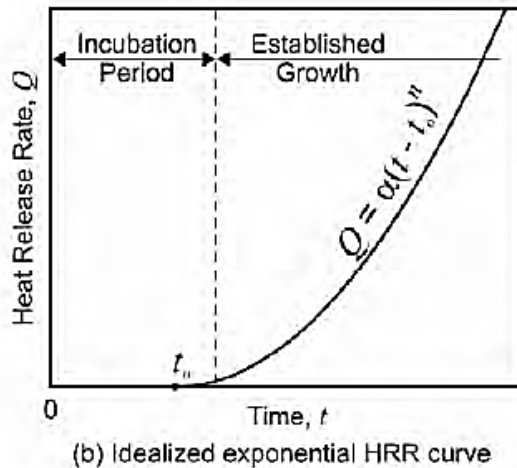
Figura 12. Diseño de tamaño de incendios para atrios.

	kW	(Btu/s)
Minimum fire for fuel restricted atrium	2,000	(1,900)
Minimum fire for atrium with combustibles	5,000	(4,700)
Large fire	25,000	(24,000)

Fuente: Method of Predicting Smoke Movement in Atria with Application to Smoke Management

4.3.3.1.4 Incendios inestables. Con frecuencia, los incendios se producen a través de un período de incubación de crecimiento lento y desigual seguido de un período de crecimiento establecido. La Figura 13 muestra que el crecimiento establecido a menudo se representa mediante una gráfica parabólica idealizada (HESKESTAD, 1984).

Figura 13. Curva exponencial idealizada de HRR.



Fuente: Handbook of smoke control engineering

El periodo de incubación no es necesario para el diseño de los sistemas de control de humo en el atrio, la ecuación Ec. (1) se puede expresar como donde

t es el tiempo después del encendido efectivo, y se llaman incendios t-cuadrados.

$$Q = \alpha(t - t_0)^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- Q = Tasa de liberación de calor KW (Btu / s)
- α = Coeficiente de crecimiento del incendio KW / s (Btu / s²)
- t = tiempo de la ignición s
- t₀ = tiempo efectivo de la ignición s

El tiempo de crecimiento es el tiempo después del encendido efectivo para que el fuego crezca a 1055 KW (1000 Btu / s). La Tabla 1 enumera los valores α y t_g para algunos tipos de fuego generales. (KLOTE J. , 1994)

Tabla 1. Constantes típicas de crecimiento de un incendio

	Growth constant	Growth time
T-square fire	α (kW/s ²)	Tg (s)
Slow ^a	0.002931	600
Medium ^a	0.01127	300
Fast ^a	0.04689	150
Ultra-fast ^b	0.1878	75

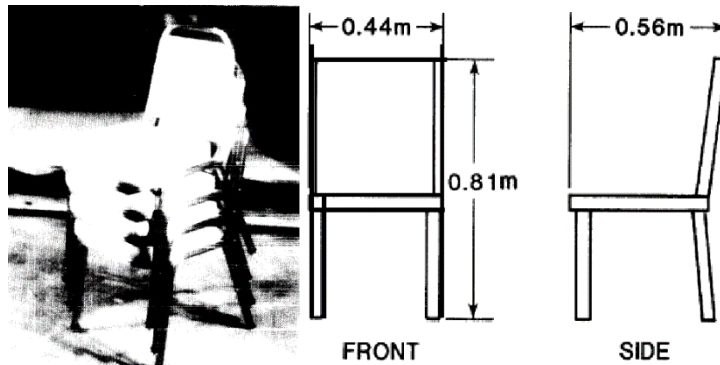
^aConstants for these fire growth types based on data from NFPA204 (1991) and NFPA92B (1991).

^bConstants for the ultra-fast fire based on data from Nelson [4].

Fuente: Handbook of smoke control engineering

EL departamento de comercio de los Estados Unidos (U.S. Department of Commerce) encargando a la oficina nacional de normas (National Bureau of Standards), ha realizado pruebas de diferentes elementos o especímenes, para evaluar su comportamiento en la liberación de calor, una de estas es la prueba 75 (Test 75), “la cual son sillas construidas con marcos de metal que se pueden anidar para apilarlas. Los asientos y respaldos estaban ligeramente acolchados con espuma de poliuretano y cubiertos con una tela recubierta de plástico. Los asientos y los cojines del respaldo estaban unidos a tableros de madera contrachapada y la masa de cada silla era de 7,49 kg”. (Ver Figura 14.) (LAWSON, WALTON, & TWILLEY, 1983)

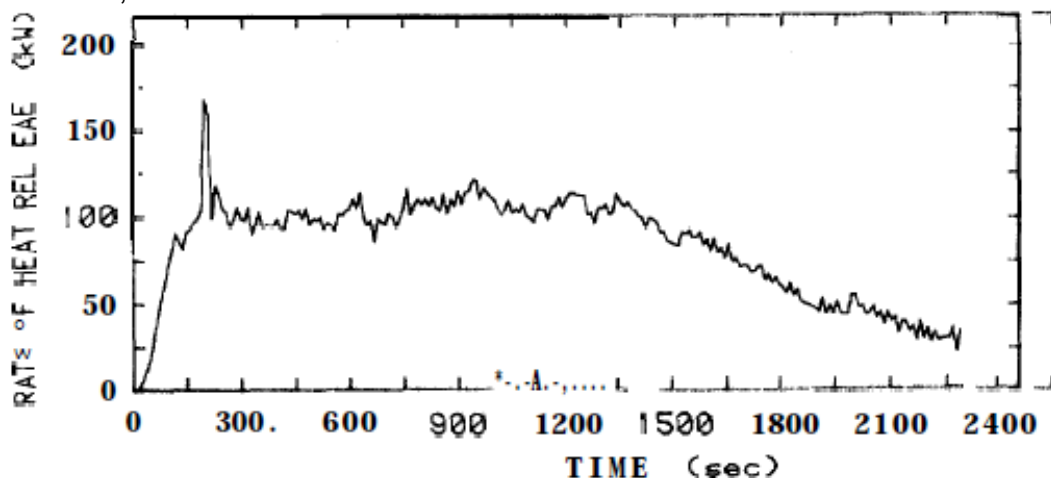
Figura 14. Fotografía y dimensiones de sillas apilables de estructura metálica, test 75.



Fuente: Fire Performance of Furnishings as Measured in the NBS Furniture Calorimeter.

“En la prueba 75, las cuatro sillas apiladas tuvieron una liberación total de calor que fue la segunda más alta para esta clase de muebles. En el pico inicial de la tasa de liberación de calor, se ve en la Figura 15, ocurriendo en los cojines de espuma de poliuretano en llamas. Las sillas se quemaron durante un total de 2230 segundos como resultado de las tablas de asiento y respaldo de madera contrachapada” (LAWSON, WALTON, & TWILLEY, 1983), se escoge la similitud de estas sillas usadas en el auditorio

Figura 15. Tasa de liberación de calor para sillas apilables de estructura metálica, Prueba 75. NBSIR 83-2787



Fuente: Fire Performance of Furnishings as Measured in the NBS Furniture Calorimeter.

Tabla 2. Constante de crecimiento Prueba 75

Q [KW]	t [s]	α
25	56	0,0800
50	71	0,0100
75	98	0,0078
100	176	0,0032
125	187	0,0036
150	192	0,0041
163	193	0,0044
α promedio		0,0058

Fuente Elaboración propia desarrollado con ecuación Ec. (1)

De acuerdo a la Figura 15 y la Tabla 2, el tipo de incendio de tiempo cuadrado, para sillas apilables de estructura metálica es de tipo lento (slow),

4.3.4. Enfoques del diseño Los enfoques de diseño que se han utilizado para el control del humo en el atrio son (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012) :

- (1) Llenado natural por el humo
- (2) Extracción mecánica de humo de un incendio estable
- (3) Extracción mecánica de humo de un incendio inestable
- (4) Ventilación natural de humo de un incendio estable
- (5) Ventilación natural de humo de un incendio inestable.

4.3.4.1. Llenado natural por el humo Este enfoque consiste en permitir que el humo llene el atrio sin ninguna extracción de humo. Para algunos espacios, el tiempo de llenado de humo con el diseño del incendio es más que suficiente para la evacuación. El tiempo de llenado de humo es el tiempo desde la ignición hasta que el humo desciende a la altura predeterminada. Estas no son muy comunes, ya que se necesita un espacio muy grande sobre el nivel más alto ocupado del atrio. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

4.3.4.2. Extracción mecánica de humo de un incendio estable Este sistema consiste en una extracción mecánica de humo, dimensionado para

mantener la parte inferior de la capa de humo a la altura predeterminada para el incendio de diseño (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

4.3.4.3. Extracción mecánica de humo de un incendio inestable Este sistema consiste en una extracción mecánica de humo, pero esta extracción es inferior al de incendio estable, de modo que la extracción solo reduce la velocidad de descenso de la capa de humo durante un tiempo que permita a los ocupantes salir del espacio de forma segura. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

4.3.4.4. Ventilación natural de humo de un incendio estable Este enfoque no es común en los EE. UU., Pero es común en Europa, Australia, Nueva Zelanda y Japón. En lugar de usar ventiladores de extracción, este enfoque utiliza esclusas para el humo cerca de la parte superior del atrio. Este tipo de ventilación también se denomina ventilación por gravedad, esto porque el humo se ventila debido a la flotabilidad.

La tasa de flujo a través de las esclusas debe ser tal que la parte inferior de la capa de humo se mantenga a la altura predeterminada durante un tiempo indefinido. Se recomienda que los sistemas de ventilación natural de incendios estables se analicen con la ayuda de un modelo computacional dinámico de fluidos (CFD por sus siglas en inglés). (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

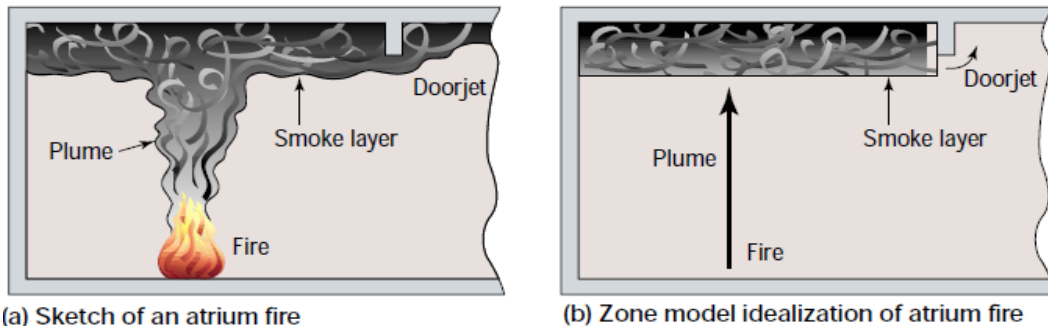
4.3.4.5. Ventilación natural de humo de un incendio inestable Este enfoque es similar al anterior, excepto que la tasa de ventilación del humo es tal que solo reduce la velocidad de descenso de la capa de humo durante un tiempo, permitiendo a los ocupantes evacuar de forma segura y manteniendo la altura segura, durante el tiempo de evacuación. También se recomienda que estos sistemas se analicen con la ayuda de un modelo CFD. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

4.3.5. Métodos de análisis Los métodos que se pueden usar para el análisis de los sistemas de control de humo en el atrio son las ecuaciones algebraicas, el modelado de zonas de incendio, el modelado en CFD y el modelado a escala, de acuerdo a la experiencia se determina que cuando el recinto en estudio, está dentro de los parámetros geométricos de la NFPA 92 es un estudio prescriptivo, cuando ya no entra dentro de estos rangos, la ingeniería de incendios permite que se realice modelos computacionales.

4.3.5.1. Ecuaciones algebraicas El control del humo de atrios, hace uso de muchas ecuaciones algebraicas. Algunos de estos se basan en los principios fundamentales de la ingeniería, y otros son correlaciones empíricas basadas en datos experimentales. Cuando se usa otro método de análisis, las ecuaciones algebraicas se usan a menudo para determinar los puntos de partida para el análisis (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012). Estas fórmulas son un método prescrito que reúne unas condiciones geométricas, en las cuales funcionan con buena precisión, estas fórmulas están contenida en la NFPA 92.

4.3.5.2. Modelado de zonas de incendio Los modelos de zona de incendio fueron desarrollados originalmente para incendios de cuartos. En un incendio en un cuarto, los gases calientes se elevan por encima del fuego, y estos gases forman una pluma. Dado que la pluma atrae el aire, el diámetro y el caudal másico de la pluma aumentan con la elevación. En consecuencia, la temperatura de la pluma disminuye con la elevación. Los gases de la pluma del incendio fluyen hacia arriba y forman una capa estratificada caliente debajo del techo. Los gases calientes en esta capa de humo pueden fluir a través de las aberturas en las paredes hacia otros espacios, y dicho flujo se denomina chorro de puerta. (KLOTHE, 2000)

Figura 16. Incendio en un cuarto (a) Bosquejo de un incendio de atrio, (b) Idealización de la zona de modelo del incendio del atrio.



Fuente: Fire Protection Engineering.

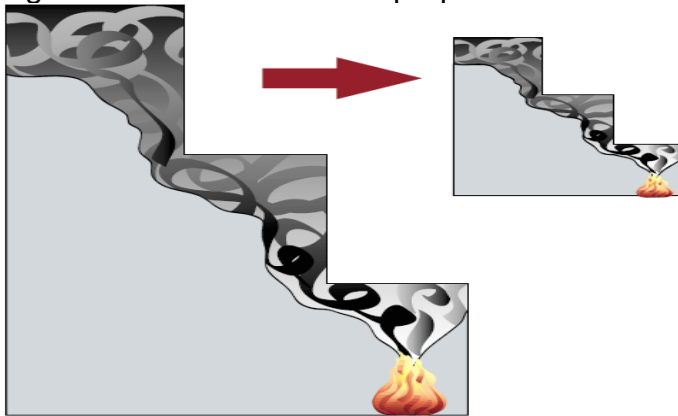
4.3.5.3. Modelación CFD Consiste en dividir el espacio en estudio, en un gran número de celdas y usar un programa de computadora para resolver las ecuaciones que gobiernan cada celda. Los programas CFD son capaces de simulaciones altamente realistas. El modelo CFD simula la pluma, el chorro de techo, la capa de humo y la zona de transición. Los modelos CFD son capaces

de simular el plugholing, y pueden simular cualquier efecto adverso de la velocidad del aire de reposición en la formación de la pluma.

El modelado CFD requiere un nivel de conocimiento y experiencia más allá del modelado de zonas de incendio, y las simulaciones de CFD generalmente requieren horas, y en ocasiones días, de tiempo de computadora. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012).

4.3.5.4. Modelación a escala El modelado a escala es capaz de simulaciones altamente realistas. Este tipo de modelado consiste en realizar pruebas de incendio en un modelo pequeño del atrio u otra instalación, y convertir los datos de esas pruebas a la instalación a escala completa

Figura 17. Modelo a escala pequeña de un atrio.



Fuente: Fire Protection Engineering.

4.3.6. Comportamiento físico del humo Es importante entender las condiciones que afectan el comportamiento del humo respecto a su entorno, estos son:

- (1) Temperatura en el atrio
- (2) Viento
- (3) Estratificación
- (4) Geometría irregular

4.3.6.1. Temperatura del humo La temperatura del aire debajo de la capa de humo se acerca rápidamente a la temperatura exterior. Esto se debe a la gran cantidad de aire de renovación que ingresa al atrio. la temperatura externa o

de ambiente, en el diseño debe usarse para estimar la temperatura ambiente del atrio.

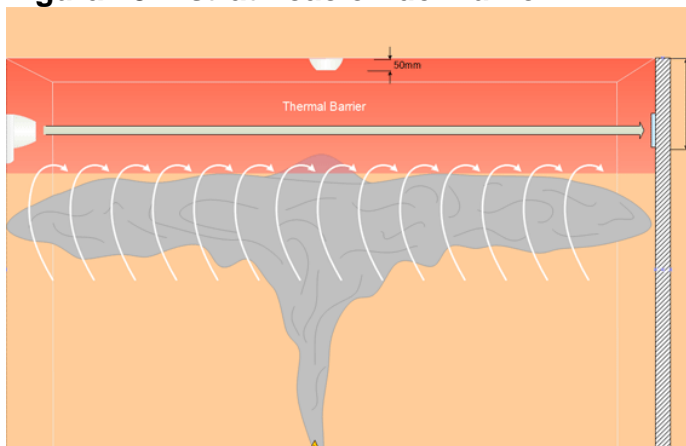
Esta temperatura impacta en el comportamiento del humo, al disminuir la densidad del humo y por tanto el aumento el caudal volumétrico de extracción necesarios para mantener el flujo másico constante. Este flujo volumétrico máximo se producirá cuando se utilice la temperatura de diseño exterior en verano para calcular la temperatura ambiente del atrio (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012).

4.3.6.2. Viento. Velocidades del viento mayores a 1m/s (200 fpm), se deben evitar para no afectar el desarrollo normal de la pluma de humo, esto se puede hacer con rejillas de renovación de aire, o con ayuda de equipos mecánicos para controlar este parámetro.

Cuando tales enfoques simples no son factibles, se necesita un análisis detallado que tenga en cuenta las direcciones de viento predominantes. Dicho análisis se puede hacer con un modelo CFD (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012)

4.3.6.3. Estratificación. Se puede formar una capa de aire caliente debajo del techo de un atrio debido a la radiación solar en el techo del atrio. La temperatura de dicha capa puede ser de 50 ° C o más. Cuando la temperatura promedio de la pluma es menor que la de la capa de aire caliente, se puede formar una capa de humo estratificada debajo de la capa de aire caliente que evita que el humo llegue a los detectores de humo montados en el techo.

Figura 18. Estratificación del humo



Fuente: www.secureweek.com

4.3.6.4. Geometría irregular. Techos ligeramente irregulares es cuando la diferencia de elevación entre las partes más altas y más bajas de un techo de atrio es inferior al 10% de la altura máxima de piso a techo, se puede usar una altura de techo promedio ponderada con un modelo de zona o ecuaciones de llenado de humo. La altura media ponderada del techo es

$$H_{av} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i A_i \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

H_{av} = altura promedio ponderada del techo, [m]

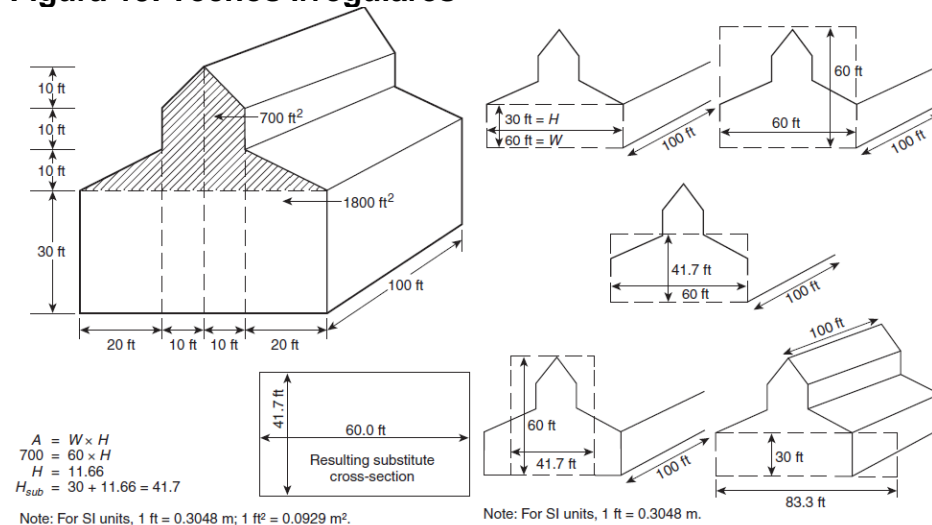
H_i = altura del techo i, [m]

A = área transversal total del atrio [m^2],

A_i = área en H_i , [m^2]

n = número de alturas de techo.

Figura 19. Techos irregulares



Fuente: NFPA 92

4.3.7. Diseño sistema mecánico de extracción de humos. Los sistemas de extracción de humo deben cumplir con los parámetros de diseño determinados por ASHRAE y SMACNA, El dimensionamiento de los ductos, selección de equipos, y accesorios se realizan mediante la utilización de tablas y nomogramas de selección.

4.3.7.1. Dimensionamiento de los ductos. Para establecer el tamaño de los diámetros del sistema se deben tener las velocidades mínimas de transporte. La Tabla 3 enumera algunas velocidades de transporte generalmente

aceptadas en función de la naturaleza de los contaminantes. Los valores listados son típicamente más altos que los teóricos. (ASHRAE, 2007)

Tabla 3. Velocidad de transporte de contaminantes

Nature of Contaminant	Examples	Minimum Transport Velocity, m/s
Vapor, gases, smoke	All vapors, gases, smoke	Usually 5 to 10
Fumes	Welding	10 to 13
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	13 to 15
Dry dusts and powders	Fine rubber dust, molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	15 to 20
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, asbestos dust in textile industries	18 to 20
Heavy dust	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sand-blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast-iron boring dust, lead dust	20 to 23
Heavy and moist dust	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transit pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quicklime dust	23 and up

Source: From American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®), *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice*, 25th ed. Copyright 2004. Reprinted with permission.

Fuente: ASHRAE Handbook - HVAC applications, Capítulo 30

Se utilizan uno de estos métodos de diseño de ductos para sistemas de HVAC y sistemas de extracción que transportan vapores, gases y humo y son el método de pérdida de fricción constante, el método de recuperación estática y el método T. cada método presenta los criterios de diseño y los procedimientos para los sistemas de extracción que transportan partículas (ASHRAE, 2007).

Tabla 4. Cuadro comparativo de métodos de diseño de ductos.

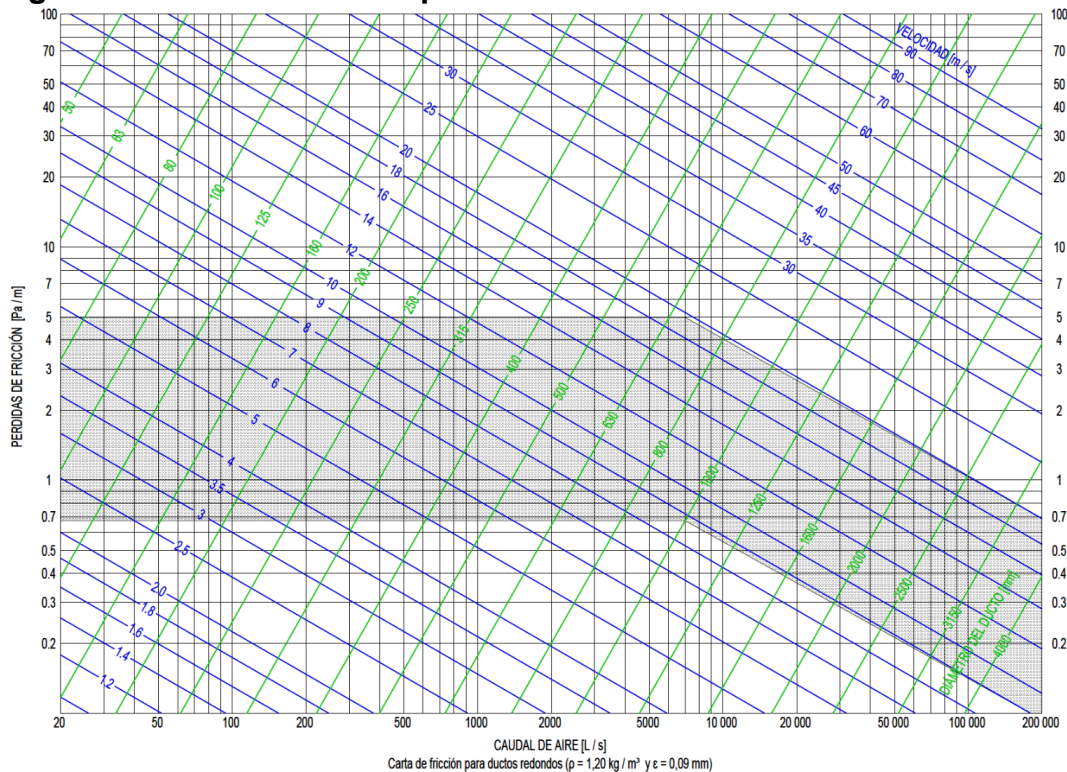
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Método de pérdida de fricción constante	Es el más utilizado Es muy efectivo para sistemas de suministro, extracción y retornos. con bajas presiones.	No existe ninguna disposición para igualar las caídas de presión en los ramales, excepto en los sistemas simétricos.
Método recuperación estática	Utilizado para diseñar sistemas de suministro, con cualquier velocidad y presión. El sistema de ductos permanecerá en equilibrio porque las pérdidas y ganancias son proporcionales a la función de velocidad.	Este método es más complejo, los ductos tienden a sobre dimensionarse en los extremos.
Método T	Este método incluye los costos iniciales, los de operación, el consumo de energía y las horas de operación	Solo se puede utilizar con la ayuda de un software de cálculo.

Fuente: HVAC Systems Duct Design - Fourth Edition

De acuerdo a la Tabla 4. Cuadro comparativo de métodos de diseño de ductos. El método por su fácil aplicación y utilizado para sistemas de extracción es el de pérdida de fricción constante.

4.3.7.1.1 Método de pérdida de fricción constante. En el método de pérdida de fricción constante, los conductos están dimensionados para una pérdida de presión constante por unidad de longitud. El área sombreada del gráfico de fricción (Figura 20) es el rango sugerido de velocidad de fricción y velocidad del aire.

Figura 20. Carta de fricción para ductos redondos



Fuente: ASHRAE Handbook - HVAC applications, Capítulo 30

Cuando el costo de energía es alto y el costo de los ductos instalados es bajo, un diseño de tasa de fricción baja es más económico. Para bajo costo de energía y alto costo de ducto, una mayor tasa de fricción es más económica. Después del dimensionamiento inicial, se calcula la pérdida de presión total para todas las secciones del conducto, y luego se cambia el tamaño de las

secciones para equilibrar las pérdidas de presión en cada unión (ASHRAE, 2007).

Cuando se trabaja con ductos rectangulares se realiza un ducto circular con diámetro equivalente.

$$D_e = \frac{1.30(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.250}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

D_e = Diámetro equivalente de conducto rectangular [mm]

a = Longitud de un lado del conducto, [mm]

b = Longitud del lado adyacente del conducto, [mm]

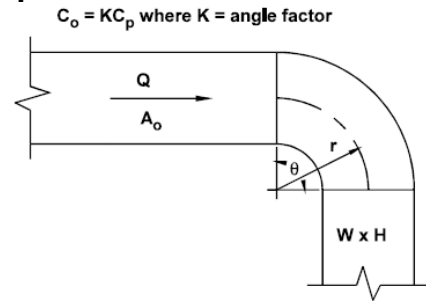
4.3.7.1.2 Coeficientes de pérdida de fricción de accesorios. Las pérdidas dinámicas resultan de las perturbaciones del flujo causadas por los equipos y accesorios montados en ductos que cambian de dirección y / o el área de la trayectoria del flujo de aire. Estos ajustes incluyen entradas, salidas, codos, transiciones y uniones, los coeficientes de pérdida local por accesorios se presentan en tres formas: tablas, curvas y ecuaciones.

Figura 21. Ejemplo de tabla de coeficiente de pérdida de accesorios

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

C_p Values											
r/W	H/W										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

Angle Factor K											
θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



Fuente: ASHRAE Handbook - HVAC applications, Capitulo 30

Estos coeficientes se utilizan con Ec. (4) y la presión por velocidad (ver Figura 22)

Figura 22. Ejemplo Tabla velocidad vs presión de velocidad

Velocity (m/s)	Velocity Pressure (Pa)
10.0	60
10.2	63
10.4	65
10.6	68
10.8	70
11.0	73
11.2	76

Fuente: SMACNA HVAC Systems Duct Design

$$TP = C \times V_p \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

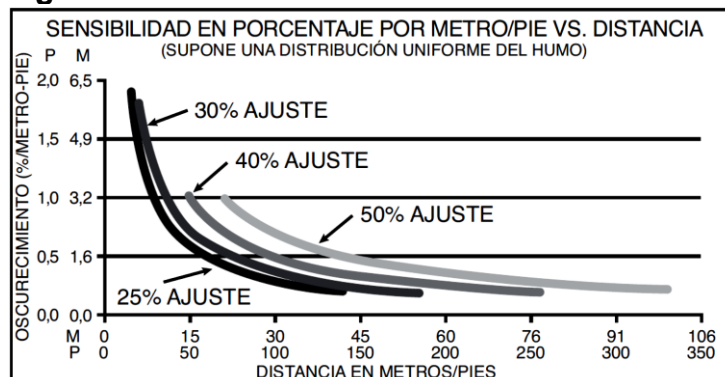
TP = Presión total [Pa]

C = Coeficiente de pérdida de fricción de accesorios, adimensional

Vp = Presión por velocidad [Pa].

4.3.8. Filosofía de funcionamiento. La activación automática se hace por medio de los detectores lineales de haz de luz, configurados de tal manera que se activen cuando tengan un nivel de 3,2% oscurecimiento por m (1% oscurecimiento por pie), para esto dependiendo de la separación entre el emisor y receptor se deben ajustar a un nivel aceptable según el fabricante para lograr su óptimo funcionamiento así como se observa en la Figura 23 de un fabricante típico. (SYSTEM SENSOR, 2007)

Figura 23. Sensibilidad en % de oscuración Vs distancia



Fuente: System sensor

La activación manual del modo de control de humo debe iniciarse dentro de los 10 segundos después de activarse (NFPA 92, 2018), se recomienda que sea de forma inmediata sin exceder los 10 s.

Los sistemas de control de humo deben activar componentes individuales (por ejemplo, dámperes, ventiladores) en la secuencia necesaria para evitar daños físicos a los ventiladores, dámperes, ductos y otros equipos (NFPA 92, 2018). El panel de control de incendio debe supervisar las señales de problema y alarma de cada detector de haz de luz a través del lazo de comunicaciones y por medio de módulos monitores recibirá estas señales desplegándolas en su display. Adicionalmente el panel de incendio a través de módulos de tipo relevador iniciará la señal de entrada a los controladores del sistema de extracción de humos para su respectiva activación. Módulos monitores estarán supervisando el estado de falla y funcionamiento de los controladores de extracción de humo. (NFPA 92, 2018)

4.3.9. Suministro de aire de renovación. El aire de renovación es aire exterior suministrado por aberturas externas o por ventiladores mecánicos, y este debe suministrarse por debajo de la interfaz de la capa de humo para que no se distorsione.

Cuando se proporciona aire de renovación a través de las aberturas desde el exterior, también fluye aire a través de las fugas.

Las fugas consisten en grietas de construcción, huecos alrededor de puertas cerradas, huecos alrededor de ventanas cerradas y otros caminos pequeños similares. Las aberturas grandes deben dimensionarse para proporcionar aproximadamente del 85% al 95% del aire de reposición (NFPA 92, 2018, pág. 28), mientras que el resto atraviesa las fugas equivalentes entre el 5% a 15%, esto evitará la presurización positiva del atrio.

El aire de renovación no debe exceder un metro por segundo (1,00 m/s) (NFPA 92, 2018, pág. 8), donde el aire de renovación podría entrar en contacto con la pluma de humo. La razón principal de este límite es evitar una desviación significativa de la pluma y la interrupción de la capa de humo (HADJISOPHOCLEUS & ZHOU, 2008). La deflexión de la pluma da como resultado un aumento del arrastre de aire, lo que puede causar la falla del sistema de control de humo.

5. MARCO METODOLÓGICO

Para el manejo de humos se debe hacer un análisis de ingeniería utilizando los parámetros de diseño exigidos por la norma NFPA 92, Norma para sistemas de control de humo, Edición 2018.

5.1. GEOMETRÍA DEL ATRIO DE LA SEDE BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

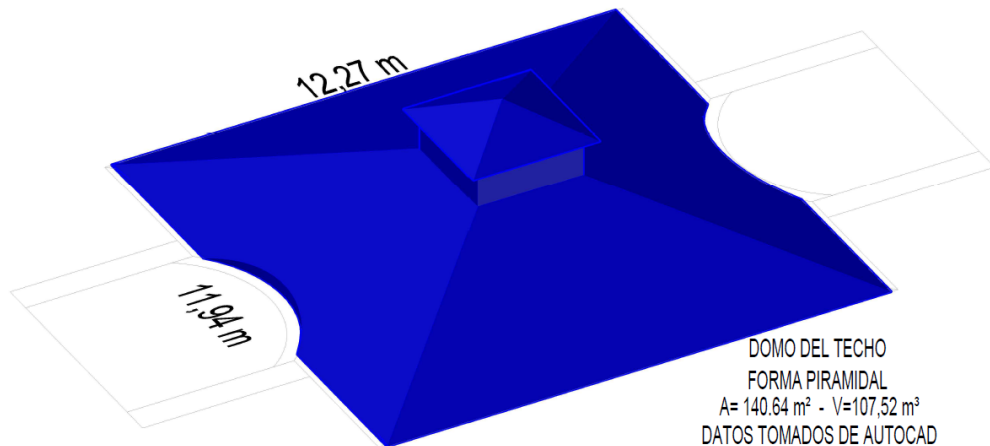
La relación entre el área (A) y la altura (H) y la distancia de la base del incendio y la primera indicación del humo (z), es importante para determinar la aplicabilidad de las fórmulas algebraicas, (NFPA 92, 2018, pág. 12).

$$0.2 \leq \frac{z}{H} \leq 1,0 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$0,9 \leq \frac{A}{H^2} \leq 14 \quad \text{Ec. (6)}$$

La forma irregular del atrio en forma de pirámide, determina que se debe realizar un cálculo del volumen del domo, para este cálculo nos apoyamos en el software de dibujo AutoCAD, dibujando los datos que fueron recolectados en el recinto.

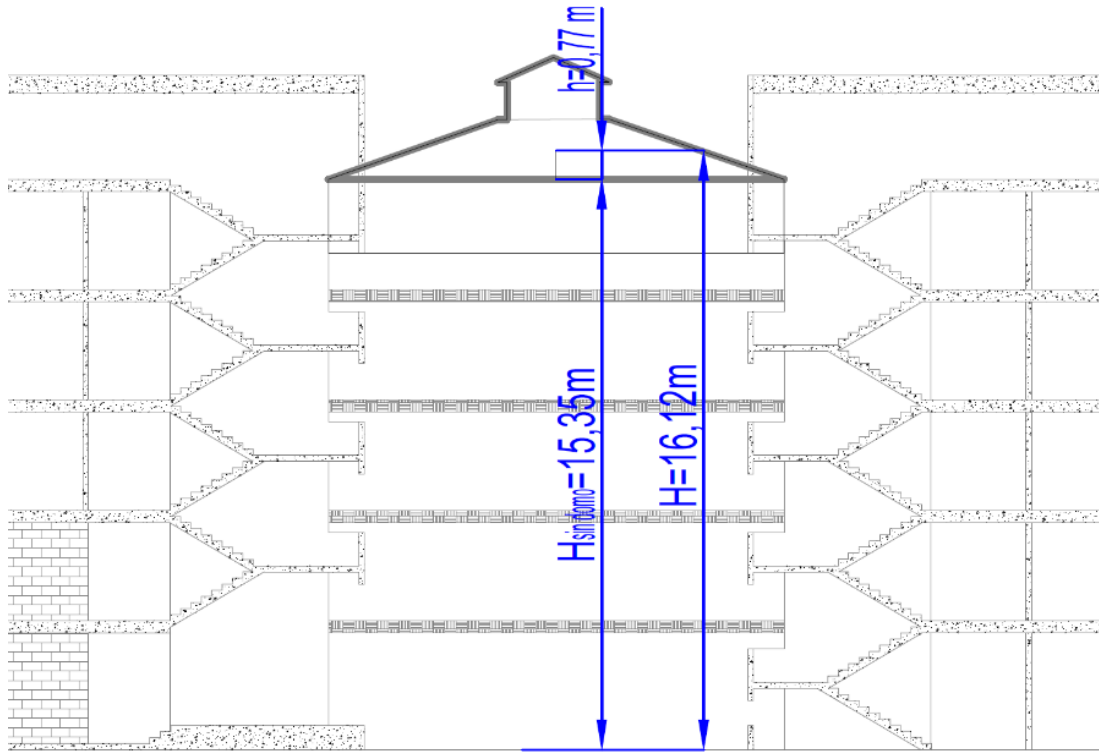
Figura 24. Techo en domo en forma piramidal del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores



Fuente: Elaboración Propia

$$h_{prom} = \frac{V[m^3]}{A[m^2]} = \frac{107.52 \text{ m}^3}{140.64 \text{ m}^2} = 0,77m$$

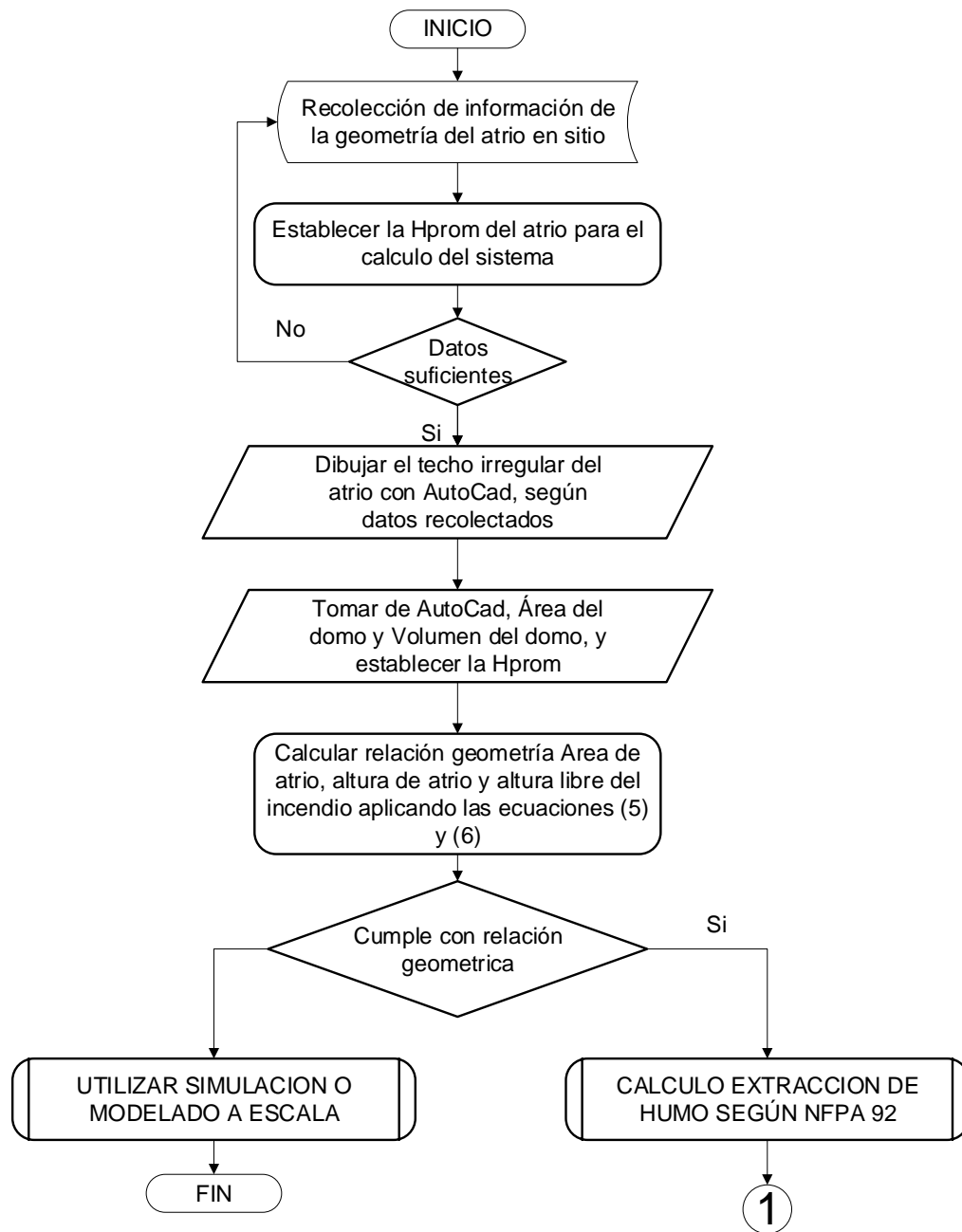
Figura 25. Corte del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores



Fuente: Elaboración Propia

$$H = H_{sin domo} + h_{prom} = 15,35m + 0,77m = 16,12m$$

Figura 26. Metodología para geometría del atrio



Fuente: Elaboración Propia

5.2. CALCULO PRODUCCIÓN DE HUMO

5.2.1. Selección de tasa de liberación de calor en la producción de humo.

La tasa de liberación de calor es de tipo estable y tipo inestable, de acuerdo a 4.3.3.1.3 y 4.3.3.1.4 se selecciona para:

5.2.1.1. Tasa de liberación de calor estable. La Tasa de liberación de calor estable con un valor por tabla de 2000 KW para un atrio con poca carga combustible.

5.2.1.2. Tasa de liberación de calor inestable. La Tasa de liberación de calor inestable, es determinada en 4.3.3.1.4 en la Figura 15 y Tabla 2. Constante de crecimiento Prueba 75, determinando el coeficiente de crecimiento con un desarrollo lento para un tiempo de crecimiento $t_g = 600$ s.

Para establecer el tiempo después de la ignición efectiva (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashaf, & Ferreira, 2012, pág. 324) y utilizando la relación de tiempos respecto al desarrollo del incendio.

$$t_i = 0,937 * t_g^{\frac{2}{5}} * H^{\frac{4}{5}} * \left[\frac{A}{H^2} \right]^{\frac{3}{5}} * \left[\frac{z}{H} \right]^{-0,69} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$Q = 1055 * \left[\frac{t}{t_g} \right]^2 \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

A = Área del atrio [m²]

H = Altura promedio del atrio [m]

z = Distancia desde la base del incendio hasta la capa de humo [m]

Q = Tasa de liberación de calor [KW]

t_i = Tiempo de ignición efectiva [s]

t_g = Tiempo de crecimiento [s]

5.2.2. Selección de escenario según tasa de producción de masa de humo. De acuerdo al análisis del atrio se tienen dos posibles escenarios, un incendio de tipo estable en la parte central del atrio con un comportamiento axisimétrico y un incendio tipo inestable en el auditorio con un comportamiento de tipo balcón.

5.2.2.1. Tasa de producción de masa de humo tipo axisimétrico. Este escenario es en la parte central del atrio, para este cálculo se requiere conocer

el tiempo aproximado de llenado de la capa de humo (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 323)

$$t = \frac{A * H^{\frac{4}{3}}}{H^2 * Q^{\frac{1}{3}}} * \exp \left[\frac{1}{0,28} * \left[1,11 - \frac{z}{H} \right] \right] \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

A = Área del atrio [m²]

H = Altura promedio del atrio [m]

z = Distancia desde la base del incendio hasta la capa de humo [m]

Q = Tasa de liberación de calor [KW]

t = Tiempo de llenado de la capa de humo

EL calor convectivo este dado por la ecuación (NFPA 92, 2018, pág. 13)

$$Q_c = \chi Q \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

Q_c = Calor convectivo [KW]

X = Fracción de calor

Q = Calor Convectivo [KW]

Para definir el uso de las ecuaciones se debe calcular el límite de elevación, ecuación Ec. (11) y seleccionar la ecuación de consumo de masa Ec. (12) o Ec. (13) (NFPA 92, 2018, pág. 13)

$$z_l = 0.166 Q_c^{2/5} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$\text{cuando } z > z_l, m = \left(0.071 Q_c^{1/3} z^{5/3} \right) + 0.0018 Q_c \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\text{Cuando } z \leq z_l, m = 0.032 Q_c^{3/5} z \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

z_l = Limite de elevación [m]

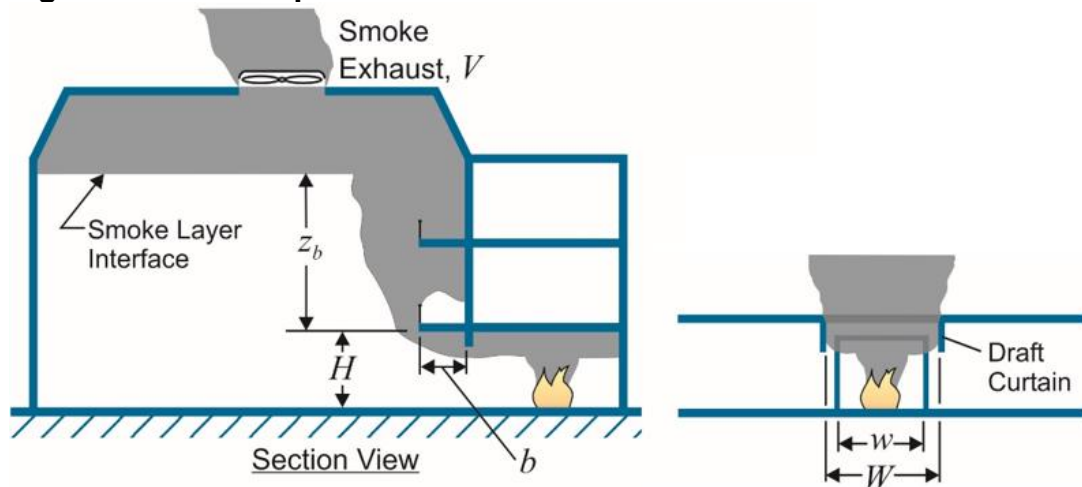
z = Distancia desde la base del incendio hasta la capa de humo [m]

Q_c = Tasa de liberación de calor convectiva [KW]

m = tasa de liberación de masa de humo [Kg/s]

5.2.2.2. Tasa de producción de masa de humo tipo balcón. Este escenario es en el auditorio, la geometría del atrio es fundamental para el cálculo, ver Figura 27. (KLOTE, Milke, Turnbull, Kashef, & Ferreira, 2012, pág. 323)

Figura 27. Pluma tipo balcón



Fuente: <https://smokecontrolexpert.com/>

$$m = 0.12(QW^2)^{1/3}(z_b + 0.25H) \quad \text{Ec. (14)}$$

$$W = w + b \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

m = tasa de liberación de masa de humo [Kg/s]

Q = Tasa de liberación de calor [KW]

W = Medida de Ancho de la pluma que se derrama debajo del balcón.

z_b = Distancia desde el balcón hasta la capa de humo [m]

w = Ancho de la abertura desde el área de origen [m]

b = Distancia desde la abertura al borde de balcón [m]

5.2.3. Cálculo de caudal de extracción de humo. Al establecer la tasa mayor de liberación de masa de humo, se calcula el caudal a extraer.

La temperatura de la capa de humo se determina con la ecuación Ec. (16), la densidad del humo con la ecuación Ec. (17) y el flujo volumétrico o caudal de humo con la ecuación Ec. (18) (NFPA 92, 2018, pág. 15)

$$T_s = T_o + \frac{K_s Q_c}{m C_p} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$\rho = \frac{P_{atm}}{RT} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde:

T_s = Temperatura capa de humo [°C]

T_o = Temperatura ambiente [°C]

Q = Tasa de liberación de calor [KW]

K_s = Fracción de calor convectivo liberado contenido en la capa de humo

m = tasa de liberación de masa de humo [Kg/s]

C_p = Calor específico en la pluma de gases [1 KJ / Kg °C]

ρ = Densidad del humo a la temperatura [Kg / m³]

P_{atm} = Presión atmosférica [Pa]

V = Flujo volumétrico de extracción de humo [m³ / s]

Para determinar el máximo flujo volumétrico sin producir el plugholing se calcula con la ecuación Ec. (19) y (NFPA 92, 2018, pág. 15)

$$V_{max} = 4.16 \gamma d^{5/2} \left(\frac{T_s - T_o}{T_o} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$\#e = \frac{V_e}{V_{max}} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$S_{min} = 0.9 V_e^{1/2} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

T_s = Temperatura capa de humo [°C]

T_o = Temperatura ambiente [°C]

d = Altura de la capa de humo [m]

γ = Factor de localización de las entradas o extracciones (se utiliza 1)

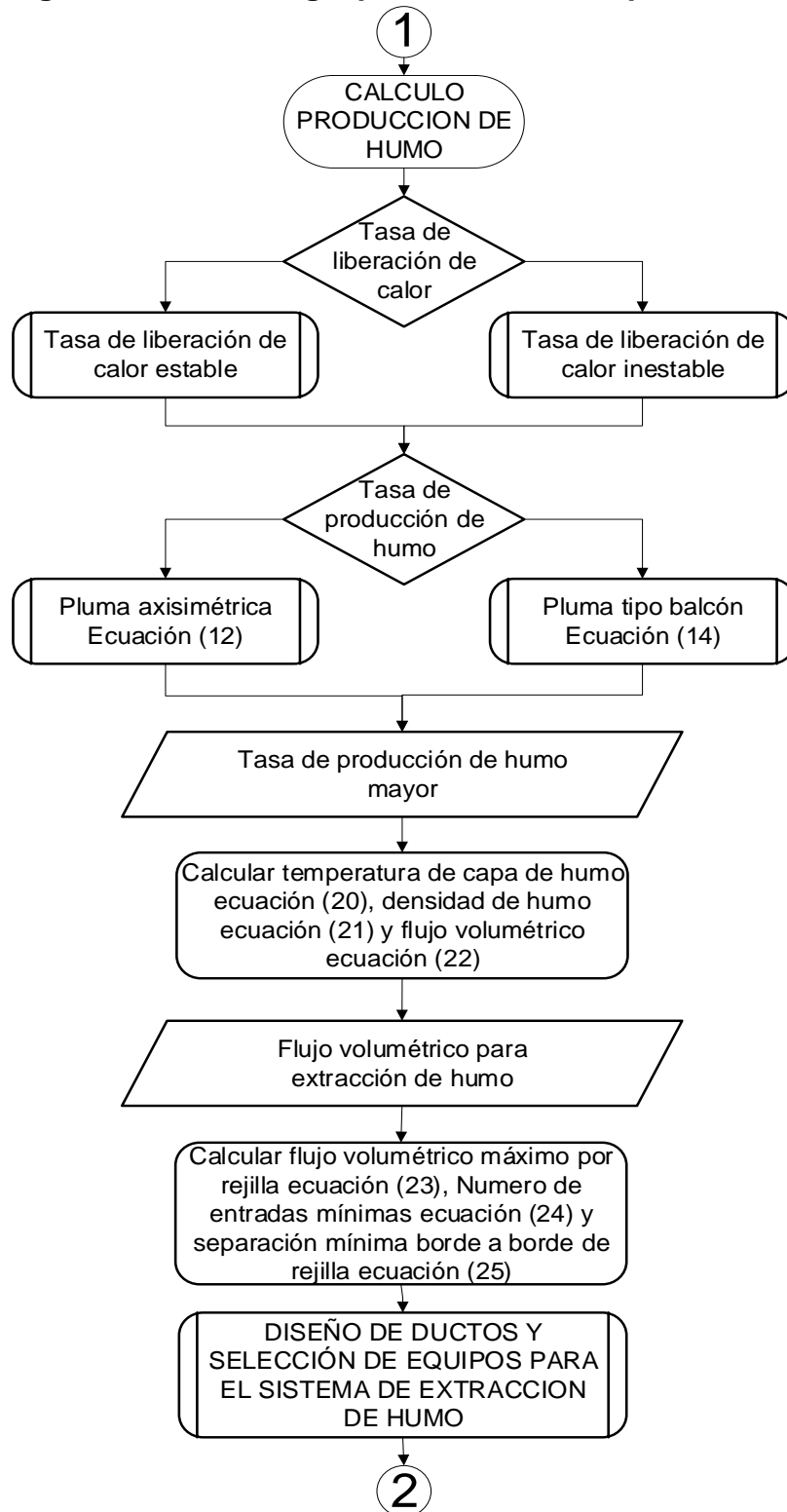
$\#e$ = Número de entradas o extracciones

V_{max} = Flujo volumétrico máximo de extracción de humo sin plugholing [m³ / s]

V_e = Flujo volumétrico por rejilla o extracción de humo [m³ / s]

S_{min} = Separación mínima borde a borde entre las rejillas o extracciones [m]

Figura 28. Metodología para el cálculo de producción de humo



Fuente: Elaboración propia

5.3. DISEÑO DE DUCTOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS

5.3.1. Planimetría del sistema de extracción de humo. Se debe proyectar un esquema del sistema de extracción de humo en la arquitectura del edificio.

5.3.2. Dimensionamiento de los ductos. Se determina según la Tabla 3. Velocidad de transporte de contaminantes y utilizando el método de pérdida de fricción constante seleccionado en el 4.3.7 Diseño sistema mecánico de extracción de humos. Y usando la Figura 20. Carta de fricción para ductos redondos, se dimensiona los ductos circulares o rectangulares con un diámetro equivalente según ecuación Ec. (3)

5.3.2.1.1 Pérdida de carga por fricción. Las pérdidas dinámicas resultan de las perturbaciones del flujo causadas por entradas, salidas, codos, transiciones y uniones, estos coeficientes de pérdida varían según el accesorio (SMACNA, 2005)

Ejemplo de cálculo de pérdida de carga de fricción en ductos:

Ducto tramo AB con pérdida de fricción de $C_T = 1,51 \text{ Pa / m}$ y longitud 2,8 m. usando la Ec. (22)

$$T_p = C_T * L \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde:

TP = Presión total [Pa]

C_T = Coeficiente de pérdida de fricción por longitud de ducto [Pa / m]

L = Longitud de ducto [m].

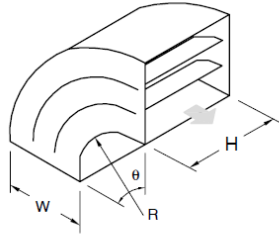
$$T_p = \left(1,51 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}\right) * (2,80 \text{ m}) \cong 5 \text{ Pa}$$

Ejemplo de cálculo de pérdida de carga de fricción en accesorios:

Codo rectangular con 3 vanes de R=100mm, W=900mm y H=900mm, la pérdida de fricción se determina usando la ecuación Ec. (3) y el coeficiente de pérdida de acuerdo a la Figura 29

Figura 29. Coeficiente de fricción de codo rectangular

G. ELBOW, RECTANGULAR, SMOOTH RADIUS WITH SPLITTER VANES



NOTES:

- See Page x to calculate splitter vane spacing
- CR = Curve Radius
- Use correction factors in Note 1 on Page x for elbows other than 90°

	R/W	CR	Coefficient C										
			H/W										
			0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
3 splitter vanes	0.05	0.467	0.11	0.10	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23
	0.10	0.549	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
	0.15	0.601	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
	0.20	0.639	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	0.25	0.669	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	0.30	0.693	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.35	0.714	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.40	0.731	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.45	0.746	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.50	0.760	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Use the velocity pressure (V_p) of the downstream section. Fitting loss $TP = C \times V_p$

Table A-7 Loss Coefficients, Elbows (continued)

Fuente: SMACNA

Figura 30. Tabla A-4M velocidad vs presión de velocidad

Velocity (m/s)	Velocity Pressure (Pa)
12.0	87
12.2	90
12.4	93
12.6	96
12.8	99
13.0	102

Fuente: SMACNA

Según tabla A-7 g y tabla A-4M (SMACNA, 2006, pág. A.17)

$$R = 100mm ; W = 900 mm ; H = 900 mm$$

$$\frac{R}{W} = 0,11; \frac{H}{W} = 1; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99,00 Pa$$

$$T_p = (0,06) * (99,00 \text{ Pa}) \cong 6 \text{ Pa}$$

5.3.2.1.2 Hoja de trabajo para dimensionamiento de ductos. Después de calcular las caídas de presión por ductos y accesorios, se llena una tabla con estos datos, Figura 31. (SMACNA, 2006, pág. 7.56)

Figura 31. Ejemplo de tabla de coeficiente de pérdida de accesorios

DUCT SIZING WORK SHEET
 DATE _____ PAGE _____
 PROJECT _____ LOCATION _____ SYSTEM _____

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	DUCT RUN	SEC- TION	ITEM	FLOW (L/S)	FRICTION PER METER	VELOC- ITY (MS)	V _p (PA)	LOSS COEFF	EQUIV DIAM	RECTANGU- LAR SIZE	CORR FACT	LOSS PER ITEM	LOSS PER SECTION	CUMULA- TIVE LOSS	TOTAL LOSS
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															

FIGURE 7-10M DUCT SIZING WORK SHEET (SI)

Note: * Indicates duct lining used. Sizes are interior dimensions.

Fuente: SMACNA

A continuación con los datos de la tabla se procede a dibujar diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos y se hace la selección del extractor de acuerdo a la presión (SMACNA, 2006, pág. 5.23) y se determina la clase de presión para los reforzamientos (SMACNA, 2005)

Figura 32. Ejemplo de diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos

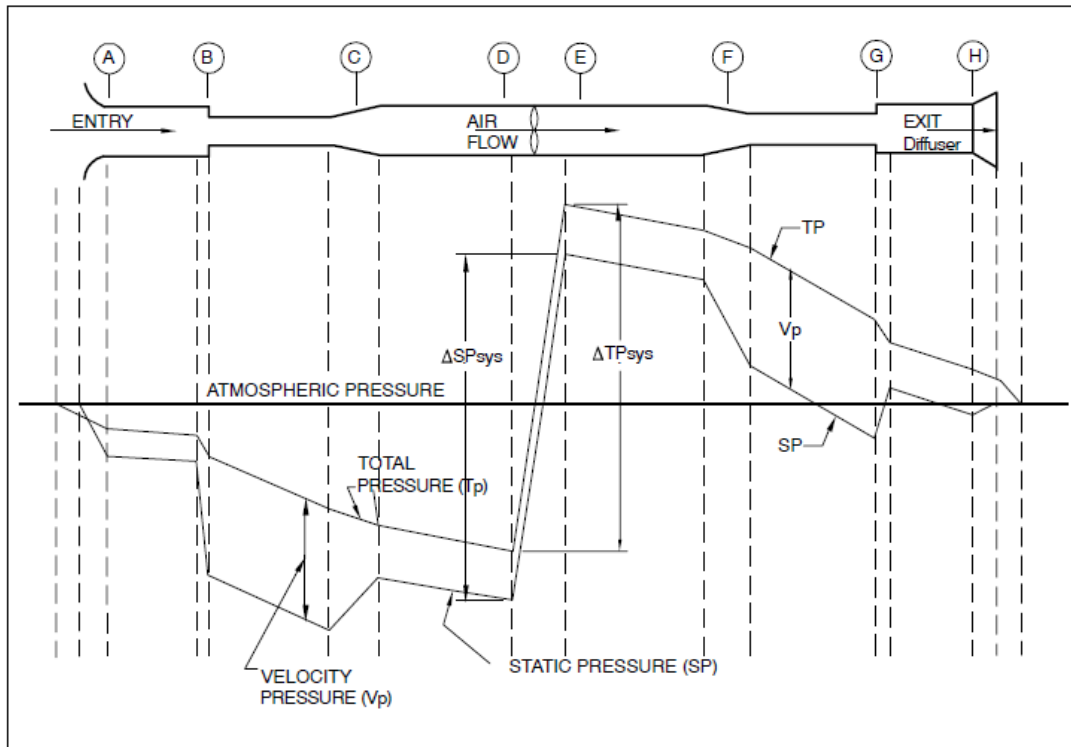


FIGURE 5-10 PRESSURE CHANGES DURING FLOW-IN DUCTS

Fuente: SMACNA

5.3.2.1.3 Reforzamiento de ductos. De acuerdo a la norma de construcción de ductos SMACNA, se realiza de acuerdo a las tablas 2-2 y 2-33 (SMACNA, 2005, págs. 2.14 - 2.79).

Se seleccionan los refuerzos, y se identifica el calibre mínimo y distancia de ubicación del refuerzo, el primer dígito identifica el perfil del refuerzo y el segundo dígito identifica el calibre de la lámina de acero.

Ejemplo de selección se ve en la Figura 33

Figura 33. Selección de reforzamiento de ductos

1" W.G. STATIC POS. OR NEG.	TABLE 2-2 RECTANGULAR DUCT REINFORCEMENT									
	NO REINFORCEMENT REQUIRED	REINFORCEMENT CODE FOR DUCT GAGE NO.								
		REINFORCEMENT SPACING OPTIONS								
		10"	8"	6"	5"	4"	3"	2 1/2"	2"	
DUCT DIMENSION		1	2	3	4	5	6	7	8	9
10" dia	26 ga.									
11, 12"	26 ga.									
13, 14"	24 ga.									
15, 16"	22 ga.									
17, 18"	22 ga.									
19, 20"	20 ga.									
21, 22"	18 ga.									
23, 24"	18 ga.									
25, 26"	18 ga.									
27, 28"	16 ga.									
29, 30"	16 ga.									
31-36"										
37-42"										
43-48"										
49-54"										
55-60"										
61-72"										
73-84"										
85-96"										
97-108"										
109-120"										

**TABLE 2-31
(Option)
TRANSVERSE
JOINT**

MINIMUM RIGIDITY CLASS	E I'	T - B STANDINGS	
		H x T	WT
A	0.5	Use B	
B	1.0	1 x 26 ga.	0.9
C	1.5	1 x 22 ga.	0.9
D	2.7	1 x 18 x 20 ga.	0.9
E	6.5	1 1/8 x 18 ga.	1.0
F	12.8	Use G	
G	15.8	1 5/8 x 18 ga.	1.3
H	22		
I	69		
J	80		
K	105		
L	207		

**TABLE 2-29
(Option)
INTERMEDIATE**

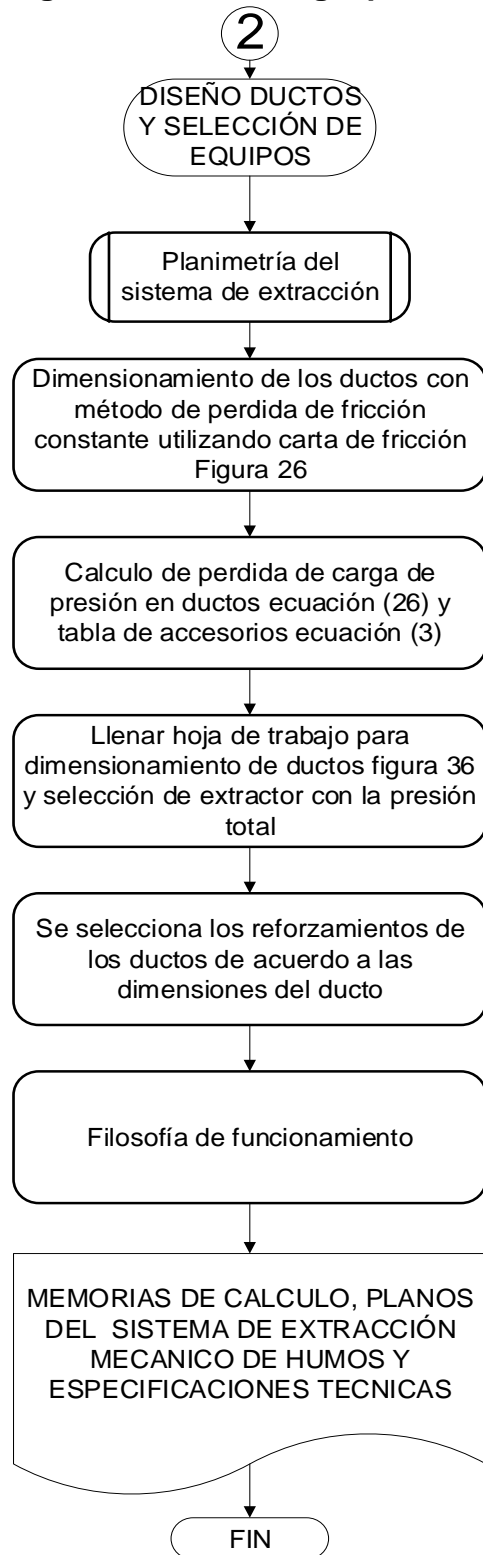
REINF. CLASS	E I'	ANGLE	
		H x T (IN)	WT
A	0.5	Use C	
B	1.0	Use C	
C	1.5	C1 x 16 ga. C3/4 x 1/8	0.40 0.59
D	2.7	H3/4 x 1/8 C1 x 1/8	0.57 0.80
E	6.5	C1 1/4 x 1/2 ga. H 1 x 1/8	0.9 0.8
F	12.8	H 1 1/4 x 1/8	1.02
G	15.8	1 1/2 x 1/8	1.23
H	22	2 x 1/8	1.73 1.95
I	69	C2 x 3/16 2 1/2 x 1/8	2.44 2.1
J	80	H2 x 3/16 C2 x 1/4	3.2 2.1
K	105	2 1/2 x 3/16	3.1
L	207	H2 1/2 x 1/4	4.1

OR

**C angle is cold-rolled
H angle is hot-rolled**

Fuente: SMACNA HVAC Duct Construction Standards

Figura 34. Metodología para el diseño y selección de equipos



Fuente: Elaboración propia

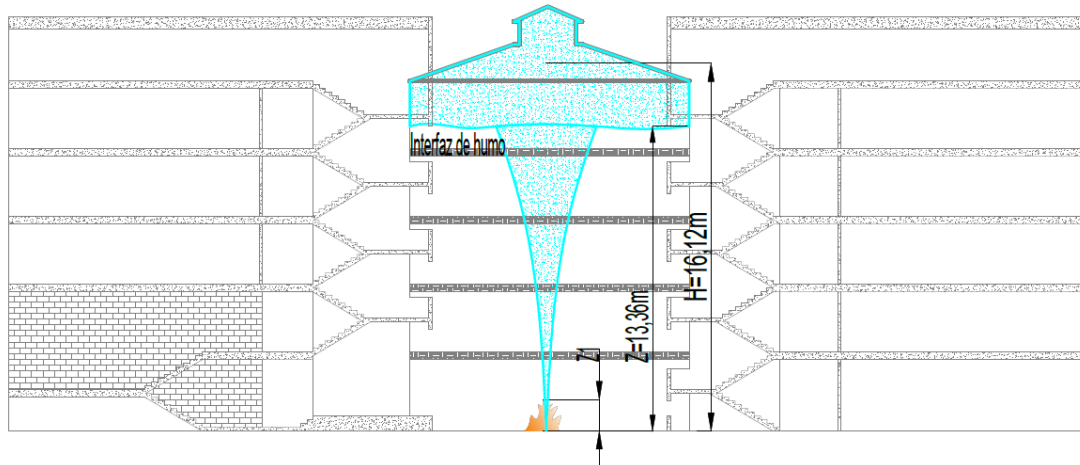
6. CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMO

6.1. GEOMETRÍA DEL ATRIO DE LA SEDE BOLÍVAR DE LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

Las condiciones geométricas del atrio de la sede Bolívar son:

$$A = 416,00 \text{ m}^2; H_{prom} = 16,12 \text{ m}; Z = 13,36 \text{ m}$$

Figura 35. Datos de pluma axisimétrica en atrio sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores



Fuente: Elaboración propia

La relación entre el área (A) y la altura (H) y la distancia de la base del incendio y la primera indicación del humo (z), son:

$$\frac{z}{H} = \frac{13,36 \text{ m}}{16,12 \text{ m}} = 0,83$$

$$\frac{A}{H^2} = \frac{416,00 \text{ m}^2}{(16,12 \text{ m})^2} = 1,60$$

Se cumple con las relaciones geométricas de las ecuaciones Ec. (5) y Ec. (6)

6.2. CALCULO PRODUCCIÓN DE HUMO

6.2.1. Selección de tasa de liberación de calor en la producción de humo.

6.2.1.1. Tasa de liberación de calor estable. La Tasa de liberación de calor estable con un valor por tabla de 2000 KW para un atrio con poca carga combustible.

6.2.1.2. Tasa de liberación de calor inestable. El coeficiente de crecimiento del espécimen 75 con un desarrollo lento para un tiempo de crecimiento $t_g = 600$ s.

El tiempo después de la ignición efectiva de la ecuación Ec. (7) es.

$$t_i = 0,94 * 600^{\frac{2}{5}} * (16,12)^{\frac{4}{5}} * \left[\frac{416,00}{16,12^2} \right]^{\frac{3}{5}} * \left[\frac{13,36}{16,12} \right]^{-0,69}$$
$$t_i = 168,96 \text{ s}$$

Calculando la tasa de liberación de calor inestable es:

$$Q = 1055,00 * \left(\frac{168,96 \text{ s}}{600,00 \text{ s}} \right)^2$$
$$Q = 83,66 \text{ KW}$$

6.2.2. Selección de escenario según tasa de producción de masa de humo.

6.2.2.1. Tasa de producción de masa de humo tipo axisimétrico. Para este escenario se toma el calor de 2000 KW en el centro del atrio, se calcula el tiempo de llenado de la capa de humo según la ecuación Ec. (9) es:

$$t = \frac{(416,00) * (16,12)^{\frac{4}{3}}}{(16,12)^2 * (2000)^{\frac{1}{3}}} * \exp \left[\frac{1}{0,28} * \left[1,11 - \frac{13,36}{16,12} \right] \right]$$
$$t = 14,13 \text{ s}$$

El calor convectivo según la ecuación Ec. (10)

$$Q = (0,70)(2000 \text{ KW})$$

$$Q = 1400 \text{ KW}$$

El límite de elevación, ecuación Ec. (11)

$$z_l = 0,166 * (1400)^{\frac{2}{5}}$$

$$z_l = 3,01 \text{ m}$$

Como $z > z_l$ se utiliza la ecuación Ec. (12)

$$m = 0,071 * (1400)^{\frac{1}{3}} * (13,36)^{\frac{5}{3}} + 0,0018 * (1400)$$

$$m = 62,27 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

6.2.2.2. Tasa de producción de masa de humo tipo balcón. Para este escenario se toma la tasa de liberación de calor inestable de 83,66 KW producido por una silla (espécimen 75) ubicado en el auditorio (ver Figura 36). La tasa de producción de masa de humo se calcula con la ecuación Ec. (14)

Donde

$$z_b = 10,23 \text{ m}; \quad w = 1,8 \text{ m ancho de la puerta del auditorio}$$

$$b = 2,2 \text{ m distancia de la puerta del auditorio al atrio}$$

$$W = w + b = 1,8\text{m} + 2,2\text{m}$$

$$W = 4 \text{ m}$$

Figura 36. Auditorio Torreón Gabriel Betancur Mejía



Fuente: <http://www.ulibertadores.edu.co>

$$m = 0,36 * (83,66 * 4^2)^{\frac{1}{3}} * (10,23 + 0,25 * 16,12)$$

$$m = 55,64 \frac{Kg}{s}$$

6.2.3. Cálculo de caudal de extracción de humo. La tasa de mayor producción de masa de humo, es la ocasionada por un incendio en la parte central de atrio con el tipo axisimétrico con un valor de m=62,27 Kg/s.

La temperatura de la capa de humo se determina con la ecuación Ec. (16), la densidad del humo con la ecuación Ec. (17) y el flujo volumétrico o caudal de humo con la ecuación Ec. (18)

Para el cálculo de la temperatura de humo se requiere las condiciones ambientales de Bogotá, según la estación del IDEAM del Jardín Botánico se tiene una temperatura ambiental alta en promedio de 23,80 °C y una presión atmosférica de 75 110 Pa (IDEAM; ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C., 2004)

$$T_s = 23,80 \text{ } ^\circ C + \frac{(0,50) * (1400 \text{ KW})}{\left(62,27 \frac{Kg}{s}\right) * \left(1,00 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}\right)}$$

$$T_s = 35^\circ C ; T_s = 308,15 \text{ } ^\circ K$$

$$\rho = \frac{75 \text{ } 110 \text{ Pa}}{(287) * (308,15 \text{ K})}$$

$$\rho = 0,85 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V = \frac{62,27 \frac{Kg}{s}}{0,85 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 73,26 \frac{m^3}{s} = 73 \text{ } 260 \frac{L}{s}$$

Para determinar el máximo flujo volumétrico sin producir el plugholing se calcula con la ecuación Ec. (19) y teniendo los siguientes valores:

$$d = \text{Altura de capa de humo} = 2,75 \text{ m}$$

$$V_{max} = 4,16 * (2,75)^{\frac{5}{2}} * \left(\frac{308,15 - 296,95}{296,95} \right)$$

$$V_{max} = 10,24 \frac{m^3}{s}$$

$$\#e = \frac{73,26}{10,24} \cong 8 \text{ rejillas}$$

$$Ve = \frac{73,26 \frac{m^3}{s}}{8}$$

$$Ve = 9,16 \frac{m^3}{s} \text{ por rejilla}$$

$$S_{min} = 0,90 * (9,16)^{\frac{1}{2}}$$

$$S_{min} = 2,72m$$

Se selecciona una rejilla de 914mm X 914mm con un área de 0,68 m², y la velocidad en cada rejilla es:

$$v_{rejilla} = \frac{9,16 \frac{m^3}{s}}{0,68m^2}$$

$$v_{rejilla} = 13,50 \frac{m}{s}$$

Para el diseño de ductos y selección de equipos se divide el sistema en dos, para tener un volumen de cada extractor de:

$$V_{extractor} = \frac{73\ 260 \frac{L}{s}}{2}$$

$$V_{extractor} = 36\ 630 \frac{L}{s}$$

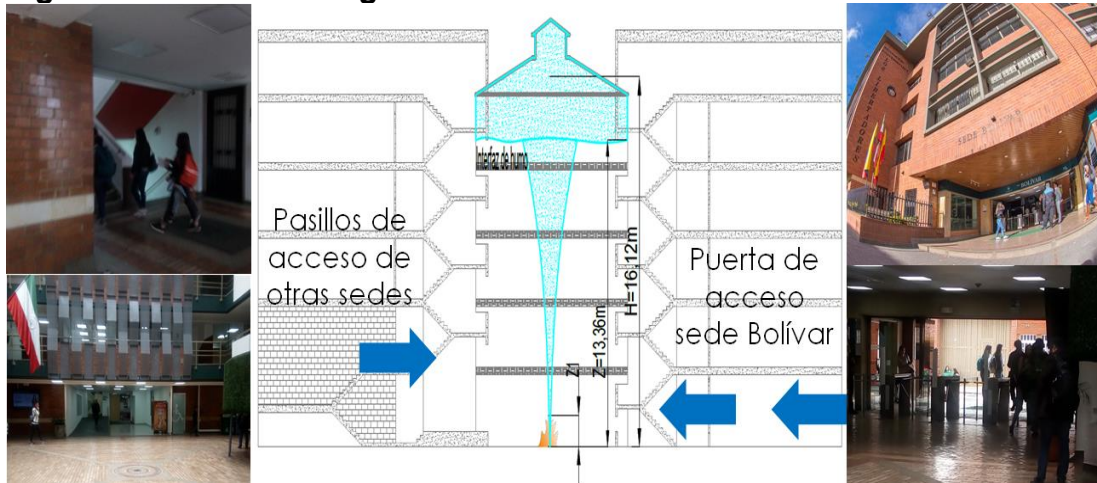
6.2.4. Suministro de aire de renovación. Se debe garantizar un área de entrada de aire de renovación teniendo en cuenta que esta área debe estar por debajo de la capa de humo.

$$A = \frac{V * 0,85}{vel}$$

$$A = \frac{73,26 \frac{m^3}{s} * 0,85}{1,00 \frac{m}{s}} = 62,27 m^2$$

Se requiere un área de 62,27m², para las aberturas del aire de renovación, esto se puede lograr con la puerta de entrada de la sede Bolívar, el pasillo de comunicación entre las sedes Bolívar y Santander, y los salones de los pisos 2, 3 y 4 que están por debajo de la capa de humo.

Figura 37. Puntos de ingreso del aire de renovación

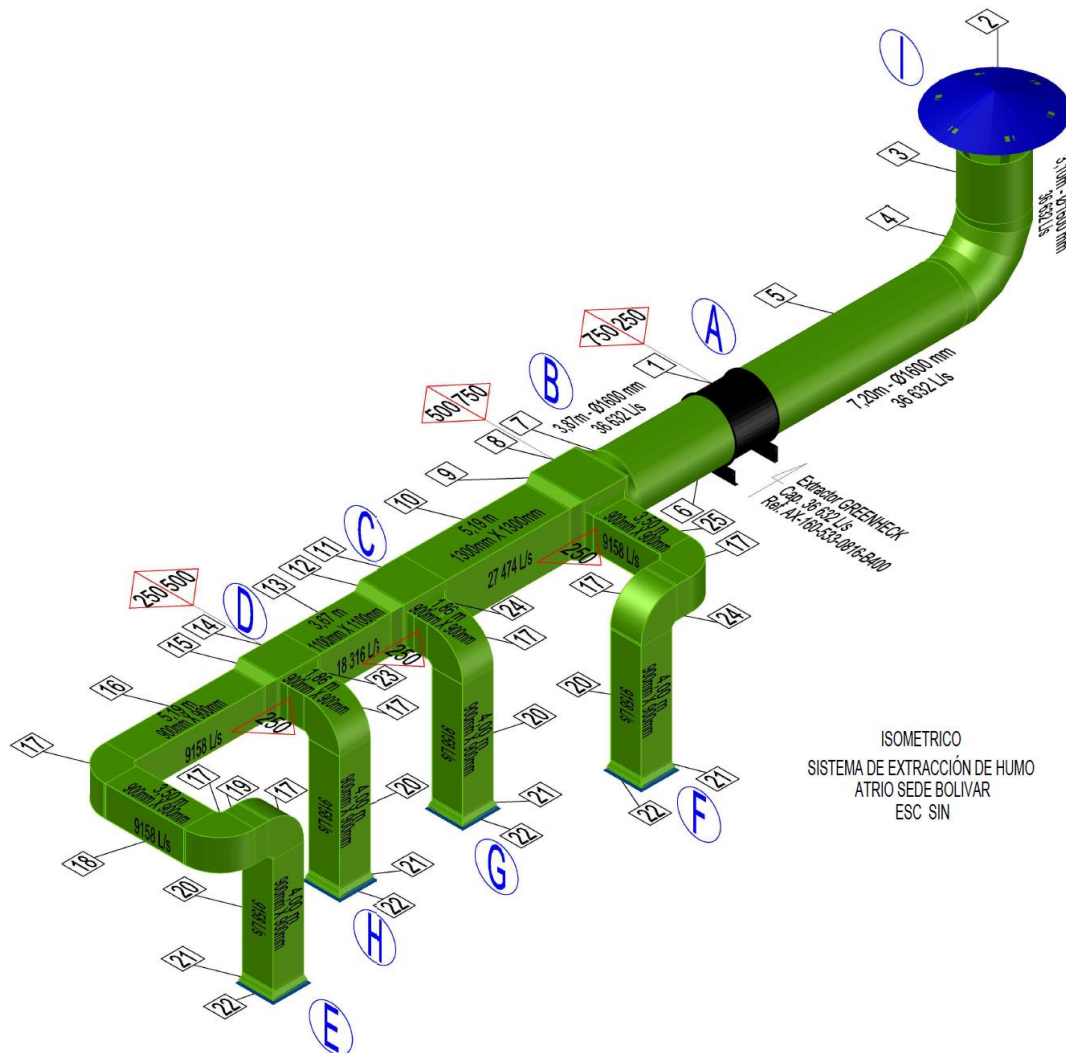


Fuente: Elaboración propia

6.3. DISEÑO DE DUCTOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS

6.3.1. Planimetría del sistema de extracción de humo. Se distribuyen las 8 rejillas de forma simétrica, diseñando dos sistemas de extracción iguales, cada uno con 4 rejillas. Ver Figura 38.

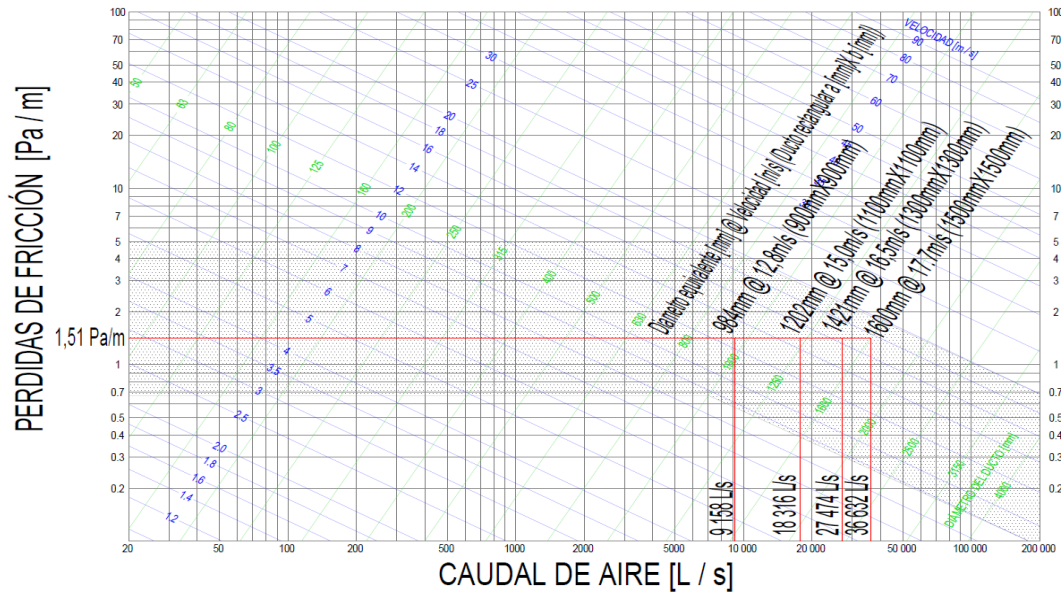
Figura 39. Isométrico del sistema de extracción de humo a nivel del techo del atrio de la sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores



Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Dimensionamiento de los ductos. Usando la carta de fricción para ductos redondos (ver Figura 40), se dimensionan los ductos circulares o rectangulares con un diámetro equivalente según ecuación Ec. (3)

Figura 40. Carta fricción sistema de extracción de humo Fundación Universitaria Los Libertadores



Carta de fricción para ductos redondos ($\rho = 1,20 \text{ kg / m}^3$ y $\varepsilon = 0,09 \text{ mm}$)

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.1.1 Pérdida de carga por fricción. De acuerdo al diagrama isométrico del sistema (ver Figura 39) se calculan las pérdidas del sistema.

Tramo AB ($V_p @ 17,7 \text{ m/s} = 189 \text{ Pa}$):

- Ducto tramo AB con pérdida de fricción de $C_T = 1,51 \text{ Pa / m}$ y longitud 2,80 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \right) * (2,80 \text{ m}) \cong 5 \text{ Pa}$$

- Contracción rectangular a circular utilizando la tabla A9-C de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.24), el diámetro es de 1600mm

$$A_{\text{rectangular}} = 1500\text{mm} \times 1500\text{mm} = 2\,250\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{circular}} = \frac{\pi * (1600\text{mm})^2}{4} = 2\,010\,619 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{\text{circular}}}{A_{\text{rectangular}}} = \frac{2\,250\,000 \text{ mm}^2}{2\,010\,619 \text{ mm}^2} = 0,90$$

$$Re = 66,4 * D * v = 66,4 * 1600 * 17,70 = 188 \times 10^4$$

$$Con Re \geq 40 \times 10^4; C = 0$$

- Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25)

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158 \text{ L/s}}{36\,632 \text{ L/s}} = 0,25$$

$$A_b = 900\text{mm} * 900\text{mm} = 810\,000\text{mm}^2$$

$$A_c = 1500\text{mm} * 1500\text{mm} = 2\,250\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810\,000\text{mm}^2}{2\,250\,000\text{mm}^2} = 0,36$$

$$Segun la tabla C = 0,33$$

$$V_p @ 17,7 \frac{m}{s} = 189 Pa$$

$$T_p = (0,33) * (189 Pa) \cong 63 Pa$$

Tramo FB (V_p@12,8m/s=99Pa):

- Ducto tramo FB con perdida de fricción de C_T = 1,51 Pa / m y longitud 5,70 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{Pa}{m}\right) * (7,50 m) \cong 9 Pa$$

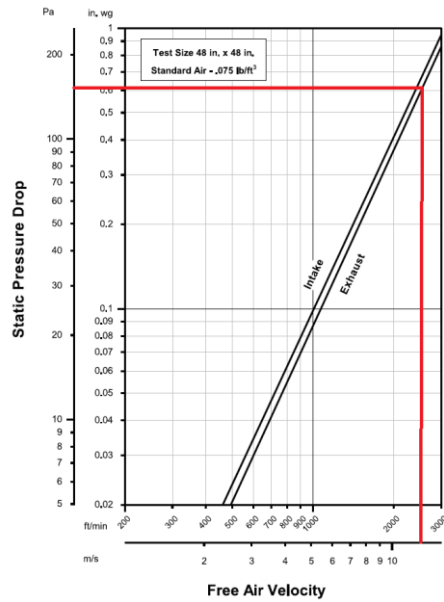
- Rejilla ESU-153 1000mmX1000mm, según tabla de fabricante (ver Figura 41)

$$v_{rejilla} = \frac{Q}{A} = \frac{9,16 \text{ m}^3/s}{0,68 \text{ m}^2} = 13,50 \text{ m/s}$$

$$T_p = 173 Pa \text{ segun Figura 41}$$

Figura 41. Tabla caída de presión ESU-153

Airflow Resistance (Standard Air - .075 lb/ft³)



Fuente: GREENHECK ESU-153

- Contracción rectangular de 45° de 1000mm X 1000mm a 900mm X 900mm con L=120mm D=(2HW) / (H+W) =900mm utilizando la tabla A9-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.23).

$$\frac{L}{D} = \frac{120mm}{900mm} = 0,13$$

$$De\ la\ tabla\ con\ \frac{L}{D} = 0,13; Co = 0,20$$

$$A = 900mm * 900mm = 810\ 000mm^2$$

$$A_1 = 1000mm * 1000mm = 1\ 000\ 000mm^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{810\ 000mm^2}{1\ 000\ 000mm^2} = 0,81$$

$$Segun\ la\ tabla\ con\ \frac{A}{A_1} = 0,81; K = 0,30$$

$$C = K * Co = 0,30 * 0,20 = 0,06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = (0,06) * (99 Pa) \cong 6 Pa$$

- Dos Codos rectangulares con 3 vanes de R=100mm, W=900mm y H=900mm, la pérdida de fricción se determina usando la ecuación Ec. (3) y el coeficiente de pérdida de acuerdo a la Figura 29 y Según tabla A-7 g y tabla A-4M (SMACNA, 2006, pág. A.17)

$$R = 100mm ; W = 900 mm ; H = 900 mm$$

$$\frac{R}{W} = 0,11; \frac{H}{W} = 1; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = 2 * (0,06) * (99 Pa) \cong 12 Pa$$

- Ramal Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25)

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158 L/s}{36\ 632 L/s} = 0,25$$

$$A_b = 900mm * 900mm = 810\ 000mm^2$$

$$A_c = 1500mm * 1500mm = 2\ 250\ 000mm^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810\ 000mm^2}{2\ 250\ 000mm^2} = 0,36$$

$$De\ la\ tabla\ A10\ con\ \frac{A_s}{A_c} = 1,00; \frac{A_b}{A_c} = 0,36\ y\ \frac{Q_b}{Q_s} = 0,25; C = -0,10$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = (-0,10) * (99 Pa) \cong -10 Pa$$

Tramo BC ($V_p @ 17,7m/s = 189Pa$):

- Ducto tramo BC con pérdida de fricción de $C_T = 1,51 \text{ Pa / m}$ y longitud 3,62 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}\right) * (3,62 \text{ m}) \cong 6 \text{ Pa}$$

- Transición rectangular de 45° de 1500mm X 1500mm a 1300mm X 1300mm utilizando la tabla A8-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.20).

$$A = 1300\text{mm} * 1300\text{mm} = 1\,690\,000\text{mm}^2$$

$$A_1 = 1500\text{mm} * 1500\text{mm} = 2\,250\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{1\,690\,000\text{mm}^2}{2\,250\,000\text{mm}^2} = 1,33$$

$$\text{Segun la tabla con } \frac{A}{A_1} = 1,33; C = 0,29$$

$$V_p @ 17,70 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 189 \text{ Pa}$$

$$T_p = (0,29) * (189 \text{ Pa}) \cong 55 \text{ Pa}$$

- Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25) con $Q_c=27\,474 \text{ L/s}$ y $Q_b=9158 \text{ L/s}$

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158 \text{ L/s}}{27\,474 \text{ L/s}} = 0,33$$

$$A_b = 900\text{mm} * 900\text{mm} = 810\,000\text{mm}^2$$

$$A_c = 1300\text{mm} * 1300\text{mm} = 1\,690\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810\,000\text{mm}^2}{1\,690\,000\text{mm}^2} = 0,48$$

$$\text{Segun la tabla } C = 0,41$$

$$V_p @ 16,50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 163 \text{ Pa}$$

$$T_p = (0,41) * (163 Pa) \cong 67 Pa$$

Tramo GC (V_p@12,8m/s=99Pa):

- Ducto tramo GC con pérdida de fricción de C_T = 1,51 Pa / m y longitud 3,74 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{Pa}{m}\right) * (3,74 m) \cong 6 Pa$$

- Rejilla ESU-153 1000mmX1000mm, según tabla de fabricante (ver Figura 41)

$$v_{rejilla} = \frac{Q}{A} = \frac{9,158 m^3/s}{0,68 m^2} = 13,5 m/s$$

$$T_p = 173 Pa \text{ segun Figura 41}$$

- Contracción rectangular de 45° de 1000mm X 1000mm a 900mm X 900mm con L=120mm D=(2HW) / (H+W) =900mm utilizando la tabla A9-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.23).

$$\frac{L}{D} = \frac{120mm}{900mm} = 0,13$$

$$\text{De la tabla con } \frac{L}{D} = 0,13; Co = 0,20$$

$$A = 900mm * 900mm = 810\,000mm^2$$

$$A_1 = 1000mm * 1000mm = 1\,000\,000mm^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{810\,000mm^2}{1\,000\,000mm^2} = 0,81$$

$$\text{Segun la tabla con } \frac{A}{A_1} = 0,81; K = 0,30$$

$$C = K * Co = 0,30 * 0,20 = 0,06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99Pa$$

$$T_p = (0,06) * (99 Pa) \cong 6 Pa$$

- Codo rectangular con 3 vanes de $R=100\text{mm}$, $W=900\text{mm}$ y $H=900\text{mm}$, la pérdida de fricción se determina usando la ecuación Ec. (3) y el coeficiente de pérdida de acuerdo a la Figura 29 y Según tabla A-7 y y tabla A-4M (SMACNA, 2006, pág. A.17)

$$R = 100\text{mm} ; W = 900\text{ mm} ; H = 900\text{ mm}$$

$$\frac{R}{W} = 0,11; \frac{H}{W} = 1,00; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99\text{Pa}$$

$$T_p = (0,06) * (99\text{ Pa}) \cong 6\text{ Pa}$$

- Ramal Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25) con $Q_b=9158\text{ L/s}$ y $Q_c=27\,444\text{ L/s}$.

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158\text{ L/s}}{27\,444\text{ L/s}} = 0,33$$

$$A_b = 900\text{mm} * 900\text{mm} = 810\,000\text{mm}^2$$

$$A_c = 1500\text{mm} * 1500\text{mm} = 1\,690\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810\,000\text{mm}^2}{1\,690\,000\text{mm}^2} = 0,48$$

$$\text{De la tabla A10 con } \frac{A_s}{A_c} = 1,00; \frac{A_b}{A_c} = 0,48 \text{ y } \frac{Q_b}{Q_s} = 0,33; C = -0,04$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99\text{Pa}$$

$$T_p = (-0,04) * (99\text{ Pa}) \cong -4\text{ Pa}$$

Tramo CD ($V_p@16,5\text{m/s}=163\text{Pa}$):

- Ducto tramo CD con pérdida de fricción de $C_T = 1,51\text{ Pa / m}$ y longitud $2,10\text{ m}$. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{Pa}{m}\right) * (2,10 m) \cong 4 Pa$$

- Transición rectangular de 45° de 1300mm X 1300mm a 1100mm X 1100mm utilizando la tabla A8-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.20).

$$A = 1100mm * 1100mm = 1\,210\,000mm^2$$

$$A_1 = 1300mm * 1300mm = 1\,690\,000mm^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{1\,210\,000mm^2}{1\,690\,000mm^2} = 1,40$$

$$Segun\ la\ tabla\ con\ \frac{A}{A_1} = 1,40; C = 0,29$$

$$V_p @ 16,50 \frac{m}{s} = 163 Pa$$

$$T_p = (0,29) * (163 Pa) \cong 48 Pa$$

- Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25) con Qc=18 316 L/s y Qb=9158 L/s

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158 L/s}{18\,316 L/s} = 0,50$$

$$A_b = 900mm * 900mm = 810\,000mm^2$$

$$A_c = 1100mm * 1100mm = 1\,210\,000mm^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810\,000mm^2}{1\,210\,000mm^2} = 0,67$$

$$Segun\ la\ tabla\ C = 0,59$$

$$V_p @ 15,00 \frac{m}{s} = 135 Pa$$

$$T_p = (0,59) * (135 Pa) \cong 80 Pa$$

Tramo HD (V_p@12,8m/s=99Pa):

- Ducto tramo HD con pérdida de fricción de $C_T = 1,51 \text{ Pa / m}$ y longitud 3,84 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}\right) * (3,84 \text{ m}) \cong 6 \text{ Pa}$$

- Rejilla ESU-153 1000mmX1000mm, según tabla de fabricante (ver Figura 41)

$$v_{rejilla} = \frac{Q}{A} = \frac{9,158 \text{ m}^3/\text{s}}{0,68 \text{ m}^2} = 13,50 \text{ m/s}$$

$$T_p = 173 \text{ Pa segun Figura 41}$$

- Contracción rectangular de 45° de 1000mm X 1000mm a 900mm X 900mm con $L=120\text{mm}$ $D=(2HW) / (H+W) = 900\text{mm}$ utilizando la tabla A9-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.23).

$$\frac{L}{D} = \frac{120\text{mm}}{900\text{mm}} = 0,13$$

$$\text{De la tabla con } \frac{L}{D} = 0,13; Co = 0,20$$

$$A = 900\text{mm} * 900\text{mm} = 810\,000\text{mm}^2$$

$$A_1 = 1000\text{mm} * 1000\text{mm} = 1\,000\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{810\,000\text{mm}^2}{1\,000\,000\text{mm}^2} = 0,81$$

$$\text{Segun la tabla con } \frac{A}{A_1} = 0,81; K = 0,30$$

$$C = K * Co = 0,30 * 0,20 = 0,06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 99 \text{ Pa}$$

$$T_p = (0,06) * (99 \text{ Pa}) \cong 6 \text{ Pa}$$

- Codo rectangular con 3 vanes de $R=100\text{mm}$, $W=900\text{mm}$ y $H=900\text{mm}$, la pérdida de fricción se determina usando la ecuación Ec. (3) y el

coeficiente de pérdida de acuerdo a la Figura 29 y Según tabla A-7 g y tabla A-4M (SMACNA, 2006, pág. A.17)

$$R = 100mm ; W = 900 mm ; H = 900 mm$$

$$\frac{R}{W} = 0,11; \frac{H}{W} = 1; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = (0,06) * (99 Pa) \cong 6 Pa$$

- Ramal Tee convergente con entrada a 45° en ducto principal utilizando la tabla A10-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.25) con Qb=9158 L/s y Qc=18 316 L/s.

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{9158 L/s}{18 316 L/s} = 0,33$$

$$A_b = 900mm * 900mm = 810 000mm^2$$

$$A_c = 1100mm * 1100mm = 1 210 000mm^2$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{810 000mm^2}{1 210 000mm^2} = 0,67$$

$$De la tabla A10 con \frac{A_s}{A_c} = 1,00; \frac{A_b}{A_c} = 0,67 y \frac{Q_b}{Q_s} = 0,50; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = (0,06) * (99 Pa) \cong 6 Pa$$

Tramo DE (V_p@12,8m/s=99Pa):

- Ducto tramo DE con pérdida de fricción de C_T = 1,51 Pa / m y longitud 10,00 m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{Pa}{m} \right) * (10,00 m) \cong 15 Pa$$

- Rejilla ESU-153 1000mmX1000mm, según tabla de fabricante (ver Figura 41)

$$v_{rejilla} = \frac{Q}{A} = \frac{9,158 \text{ m}^3/\text{s}}{0,68 \text{ m}^2} = 13,50 \text{ m/s}$$

$$T_p = 173 \text{ Pa segun Figura 41}$$

- Contracción rectangular de 45° de 1000mm X 1000mm a 900mm X 900mm con L=120mm D=(2HW) / (H+W) =900mm utilizando la tabla A9-B de manual de diseño (SMACNA, 2006, pág. A.23).

$$\frac{L}{D} = \frac{120\text{mm}}{900\text{mm}} = 0,13$$

$$\text{De la tabla con } \frac{L}{D} = 0,13; Co = 0,20$$

$$A = 900\text{mm} * 900\text{mm} = 810\,000\text{mm}^2$$

$$A_1 = 1000\text{mm} * 1000\text{mm} = 1\,000\,000\text{mm}^2$$

$$\frac{A}{A_1} = \frac{810\,000\text{mm}^2}{1\,000\,000\text{mm}^2} = 0,81$$

$$\text{Segun la tabla con } \frac{A}{A_1} = 0,81; K = 0,30$$

$$C = K * Co = 0,30 * 0,20 = 0,06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 99 \text{ Pa}$$

$$T_p = (0,06) * (99 \text{ Pa}) \cong 6 \text{ Pa}$$

- Tres codos rectangulares con 3 vanes de R=100mm, W=900mm y H=900mm, la perdida de fricción se determina usando la ecuación Ec. (3) y el coeficiente de perdida de acuerdo a la Figura 29 y Según tabla A-7 g y tabla A-4M (SMACNA, 2006, pág. A.17)

$$R = 100\text{mm} ; W = 900 \text{ mm} ; H = 900 \text{ mm}$$

$$\frac{R}{W} = 0,11; \frac{H}{W} = 1,00; C = 0.06$$

$$V_p @ 12,80 \frac{m}{s} = 99 Pa$$

$$T_p = 3 * (0,06) * (99 Pa) \cong 18 Pa$$

Tramo AI ($V_p @ 17,7 m/s = 189 Pa$):

- Ducto tramo AI con pérdida de fricción de $C_T = 1,51 Pa / m$ y longitud 7,10m. usando la ecuación Ec. (22)

$$T_p = \left(1,51 \frac{Pa}{m}\right) * (7,10 m) \cong 11 Pa$$

- Codo circular de 5 partes de $R=1600mm$, $D= 1600mm$, la pérdida de fricción se determina Según tabla A7-B (SMACNA, 2006, pág. A.15)

$$\frac{R}{D} = \frac{1600mm}{1600mm} = 1,00$$

$$Segun la tabla con \frac{R}{D} = 1,00; C = 0,33$$

$$V_p @ 17,7 \frac{m}{s} = 189 Pa$$

$$T_p = (0,33) * (189 Pa) \cong 63 Pa$$

- Sombreroete $D= 1600mm$, $L=0,5D=800mm$, $\theta=0^\circ$ la pérdida de fricción se determina Según tabla A13 (SMACNA, 2006, pág. A.40)

$$\frac{L}{D} = \frac{800mm}{1600mm} = 0,50$$

$$Segun la tabla con \frac{L}{D} = 0,50; C = 0,73$$

$$V_p @ 17,7 \frac{m}{s} = 189 Pa$$

$$T_p = (0,73) * (189 Pa) \cong 134 Pa$$

6.3.2.1.2 Hoja de trabajo para dimensionamiento de ductos. Después de calcular las caídas de presión por ductos y accesorios, se llena una tabla con estos datos, Figura 31. (SMACNA, 2006, pág. 7.56)

Tabla 5. Tabla de coeficiente de perdida de accesorios

HOJA DE TRABAJO DIMENSIONAMIENTO DUCTOS															
Proyecto:		Extracción Humos Atrio Sede Bolívar de la Fundación Universitaria Los Libertadores						Localización:		Bogotá				fecha:	2 019
	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
1	E-D		-	Rejilla ESU 153	9158	-	13,5	-	-	-	1000X1000	173			
2				Contracción 45°	9158	-	12,8	99	0,06	-	1000X1000 900X900	6			
3			3	codo rectangular 3 vanes	9158	-	12,8	99	0,06	-	900X900	18			
4		E-D	10 m	Ducto	9158	1,51	12,8	-	-	984	900X900	15	230	230	
5	D-C	-	-	Tee convergente 45°	18 316 9158	-	15,0	135	0,59	-	1100X1100 900X900	80			

Tabla 5. (Continuación)

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
6		-	-	Transición 45°	27 474 18 316	-	16,5	163	0,29	-	1300X1300 1100X1100	48			
7		D-C	2,1m	Ducto	18 316	1,51	15,0	-	-	1202	1000X1100	4	134	364	
8	C-B	-	-	Transición 45°	36 632 27 474	-	17,7	189	0,29	-	1500X1500 1300X1300	55			
9		-	-	Tee convergent e 45°	27 474 9158	-	16,5	163	0,41	-	1300X1300 900X900	67			
10		C-B	3,62m	Ducto	27 474	1,51	16,5	-	-	1421	1300X1300	6	128	492	
11	B-A	-	-	Tee convergent e 45°	36 632 9158	-	17,7	189	0,33	-	1500X1500 900X900	63			

Tabla 5. (Continuación)

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
12		-	-	Contracció n rectangula r a circular	36 632	-	17,7	189	0	-	Ø1600 1500X1500	0			
13		B-A	2,8m	Ducto	36 632	1,51	17,7	-	-	1600	Ø1600	5	68	560	
14	A-I	-	-	Codo 90° R/D=1	36 632	-	17,7	189	0,33	1600	Ø1600	63			
15		-	-	Sombreret e	36 632	-	17,7	189	0,73	1600	Ø1600	134			
16		A-I	7,1m	Ducto	36 632	1,51	17,7	-	-	1600	Ø1600	11	208	768	
17		A	EXTRAC TOR		36 632	-	17,7	-	-	1600	Ø1600	-	-	-	768
18															
19	H-D	-	-	Rejilla ESU 153	9158	-	13,5	-	-	-	1000x1000	173			

Tabla 5. (Continuación)

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
20		-	-	Contracció n 45°	9158	-	12,8	99	0,06	-	1000X1000 900X900	6			
21		-	1	codo rectangula r 3 vanes	9158	-	12,8	99	0,06	-	900X900	6			
22		-	-	Tee convergent e 45° Ramal	18 316 9158	-	12,8	99	0,06	-	1100X1100 900X900	6			
23		H-D	3,84	Ducto	9158	1,51	12,8	-	-	984	900X900	6	197		
24															
25	G-C	-	-	Rejilla ESU 153	9158	-	13,5	-	-	-	1000x1000	173			

Tabla 5. (Continuación)

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
26		-	-	Contracció n 45°	9158	-	12,8	99	0,06	-	1000X1000 900X900	6			
27		-	1	codo rectangula r 3 vanes	9158	-	12,8	99	0,06	-	900X900	6			
28		-	-	Tee convergent e 45° Ramal	27 474 9158	-	12,8	99	0,06	-	1300X1300 900X900	-4			
29		G-C	3,74	Ducto	9158	1,51	12,8	-	-	984	900X900	6	187		
30															
31	F-B	-	-	Rejilla ESU 153	9158	-	13,5	-	-	-	1000x1000	173			

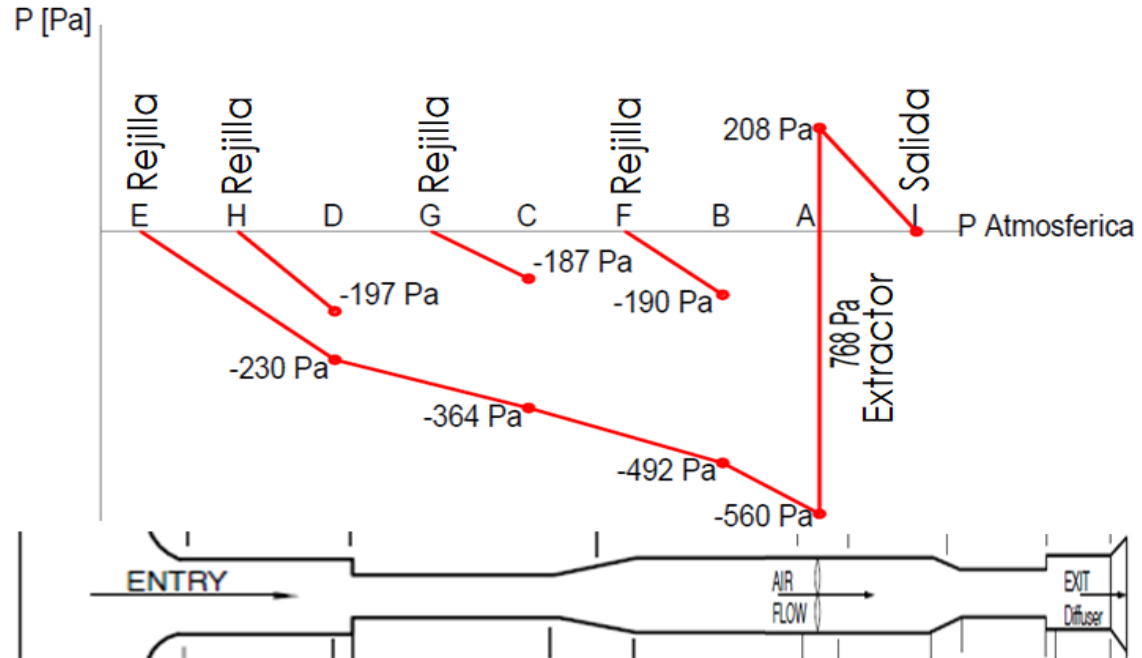
Tabla 5. (Continuación)

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O
	DUCT RUN	SECTION	ITEM		FLOW [L/s]	FRICTION PER METER [Pa/m]	VELOCITY [m/s]	Vp [Pa]	LOSS COEF	EQUIV DIAM [mm]	RECTANGULAR SIZE [mm]	LOSS PER ITEM [Pa]	LOSS PER SECTION [Pa]	CUMULATIVE LOSS [Pa]	TOTAL LOSS [Pa]
32		-	-	Contracció n 45°	9158	-	12,8	99	0,06	-	1000X1000 900X900	6			
33		-	2	codo rectangula r 3 vanes	9158	-	12,8	99	0,06	-	900X900	12			
34		-	-	Tee convergent e 45° Ramal	36 632 9158	-	12,8	99	-0	-	1500X1500 900X900	-10			
35		F-B	5,7	Ducto	9158	1,51	12,8	-	-	984	900X900	9	190		

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, con los datos de la tabla se procede a dibujar diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos y se selecciona el extractor de acuerdo a la presión.

Figura 42. Diagrama de cambios de presión durante el flujo en los ductos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diagrama la presión total es de 768 Pa, y la temperatura del humo es de 32°C, estos datos son ingresados en el software de selección (ver Figura 43)

Figura 43. Selección de extractor con software CAPS Engineer 4.27

Model Model Selection Sizing Fan Curves Configuration Drawings SDRs / Notes Shipping AMCA

Basic inputs (required)

Volume (L/sec) 36,632 External SP (Pa) N/A Airstream Temp. (C) 32
Pressure Method Total External TP (Pa) 768 Elevation (m) 2,546

Advanced inputs (optional)

Roof Mount No Smoke Control HT-1 Static Pressure Corrections Yes...
Material Steel Casing Style Long

Operating cost... Customize grid... Show invalid sizes Show available sizes

Model Name	Operating Cost / Yr (USD)	Actual Volume (L/sec)	Total External SP (Pa)	Outlet Velocity (m/sec)	Fan Speed (RPM)	Operating Power (kW)	Motor Size NEMA (hp)	Motor Size IEC (kW)	SE (%)	FEG	Propeller Diameter (mm)	Tip Speed (m/sec)	Inlet LWA (dB)	Inlet dBA (dB)	Best Lead Time
AX-160-533-0824	10,936	36,637	627.1	18.217	1170	41.62	60	45	55	75	1,600	98.029	108	96	Standard

Fuente: Software CAPS-Engineer 4.27 de GREENHECK

El extractor seleccionado es el Modelo AX-160-533-0824-B600 de GREENHECK con las siguientes características (ver Figura 44) y su curva característica de operación según el sistema de extracción (ver Figura 45)

Figura 44. Características del extractor

Performance		Fan Configuration	
Quantity	1	Size	160
Volume (L/sec)	36,637	Discharge Position	Horizontal
Total External SP (Pa)	627.1	Mounting	Base Mount
Total TP (Pa)	768.2	Material Type	Steel
Operating Power (kW)	41.62	Casing Style	Long
Required Power (kW)	43.16	Equipment Weights	
Fan RPM	1170	Fan (LMD)(kg)	499
Elevation (m)	2,546	Motor/Drive (kg)	524
Start-up Temp.(C)	21	Accessories (kg)	73
Operating Temp.(C)	32	Total Pressure Calculations	
Misc Fan Data		External TP	768 Pa
FEG	75	Direct Drive RPM Static Adj	0.2 Pa
Outlet Velocity (m/sec)	18.217	Total TP	768.2 Pa
Static Efficiency (%)	55		
Tip Speed (m/sec)	98.029		
Motor and Drives			
Motor	Included		
Size (hp)	60		
RPM	1170		
Enclosure	TEAO		
V/C/P	460/60/3		
Frame Size	404T		
Max Frame Size	405		
Location	N/A		

Fuente: Software CAPS-Engineer 4.27 de GREENHECK

Figura 45. Curva característica del extractor

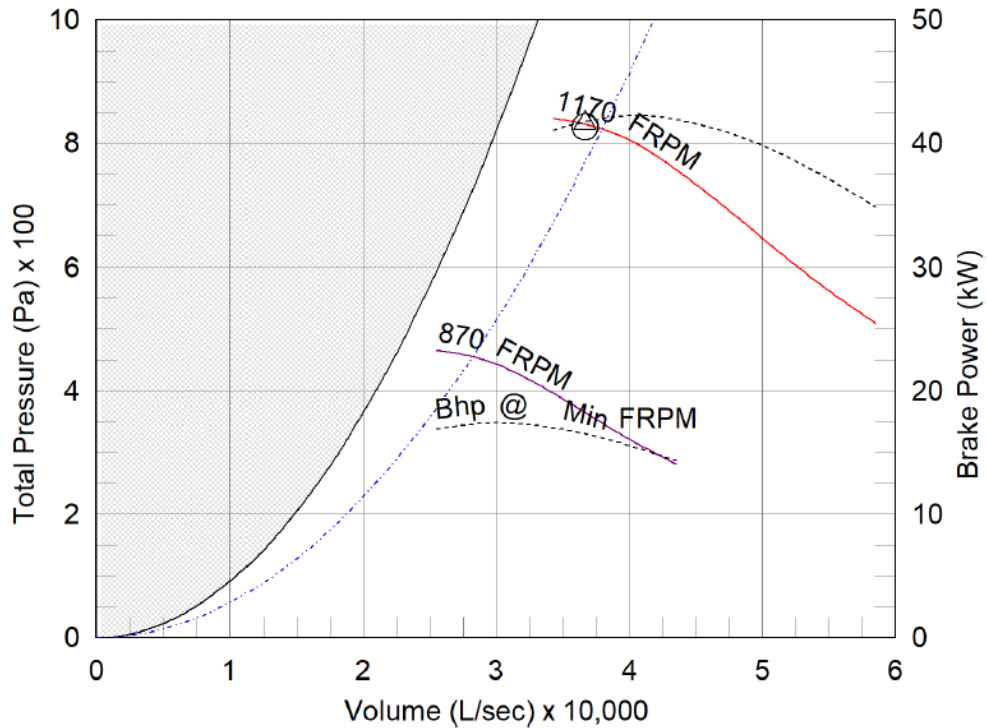
AX-160-533-0824-B600

Min/Max Fan Curve

- △ Operating BkW point
- Operating point at Total External TP
- Construction Limit
- Fan curve
- Min FRPM
- System curve
- Brake kilowatts curve
- | Min. Damper Volume

Performance

Requested Volume (L/sec)	Actual Volume (L/sec)	External SP (Pa)	Total SP (Pa)	Fan RPM	Operating Power (kW)
36,632	36,637		627.1	1170	41.62

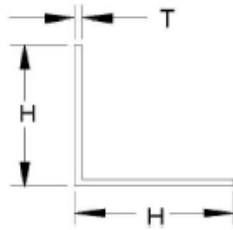


Fuente: Software CAPS-Engineer 4.27 de GREENHECK

6.3.2.1.3 Reforzamiento de ductos. De acuerdo a la norma de construcción de ductos SMACNA, se realiza de acuerdo a las tablas 2-2 y 2-33 (SMACNA, 2005, págs. 2.14 - 2.79).

Los refuerzos seleccionados para los ductos del sistema son (Ver Figura 46):

Figura 46. Reforzamiento de ductos



Ducto 1100mm X 1100 mm Ángulo $1\frac{1}{2}" \times 1\frac{1}{2}" \times \frac{3}{16}"$ C / 1,8 m

Ducto 1300mm X 1300 mm Ángulo $2" \times 2" \times \frac{3}{16}"$ C / 1,8 m

Ducto Ø1600mm Ángulo $1\frac{1}{4}" \times 1\frac{1}{4}" \times \frac{3}{16}"$ C / 3,0 m

Detalle Reforzamiento Ducto

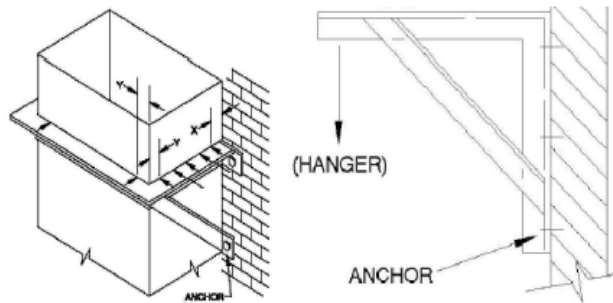
Fuente: Elaboración propia

Los soportes requeridos para las tuberías verticales y horizontales son los mostrados en la Figura 47 siguiendo los parámetros del manual de fabricación de SMACNA.

Figura 47. Soportes de ductos

Soporte en ángulo $1\frac{1}{4}" \times 1\frac{1}{4}" \times \frac{1}{8}"$

Con tornillo de anclaje de $\frac{1}{2}"$



Soporte Marco H Caddy Pyramid Ref. 360423 en caucho, incluye 2 postes bases en Strut 41mmX41mm, con hardware preinstalado, 6 pernos, 6 tuercas tipo strut y 2 soporte L para marco H

Detalle soporte
Marco H Caddy

Fuente: Elaboración propia

6.3.3. Listado de materiales. De acuerdo a los planos de diseño SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS DEL ATRIO SEDE BOLÍVAR se tiene el listado de materiales a utilizarse en el proyecto.

Tabla 6. Listado de elementos

LISTA DE ELEMENTOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	REFERENCIA	CANTIDAD
1	EXTRACTOR GREENHECK Ref. AX-160-533-0816- B600 CAPACIDAD 36300 L/s	Ø1600 mm	HT-I (150 C / 300 F for 5 hours)	2
2	Caperuza tipo hongo	Ø3200 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
3	Ducto circular L=1,5m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
4	Codo circular 5 secciones	Ø1600 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
5	Ducto circular L=5,6m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
6	Ducto circular L=2,8m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
7	Contracción Rectangular a circular ángulo 22°	1500 mm X1500 mm a Ø1600mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
8	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1500 mm X 1500 mm ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
9	Transición Rectangular 45°	1500 mm X 1500 mm A 1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
10	Ducto rectangular L= 3,62m	1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
11	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1300 mm X 1300 mm ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
12	Transición Rectangular 45°	1300 mm X 1300 mm A 1100 mm X 1100 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2

Tabla 6. (Continuación)

LISTA DE ELEMENTOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	REFERENCIA	CANTIDAD
13	Ducto rectangular L= 2,1m	1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
14	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1100 mm X 1100 mm ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
15	Transición Rectangular 45°	1100 mm X 1100 mm A 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
16	Ducto rectangular L= 2,1m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
17	Codo rectangular con 11 Vanes (R=114mm, S=83mm)	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	14
18	Ducto rectangular L= 2,3m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
19	Ducto rectangular L= 0,4m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
20	Ducto rectangular L= 3,34m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	4
21	Contracción Rectangular 45°	1000 mm X 1000 mm A 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	8
22	Rejilla greenheck ESU-153	1000 mm X 1000 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	8
23	Ducto rectangular L= 0,50m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
24	Ducto rectangular L= 0,40m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2
25	Ducto rectangular L= 1,93m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	2

Tabla 6. (Continuación)

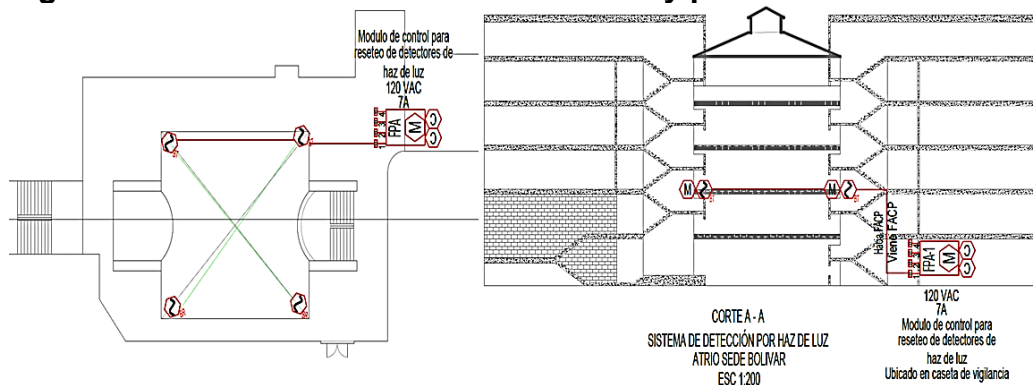
LISTA DE ELEMENTOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	REFERENCIA	CANTIDAD
26	Soporte Marco H de CADDY Pyramid Ref. 360423 en caucho, incluye 2 postes bases, con hardware preinstalado, 6 pernos, 6 tuercas tipo strut y 2 soportes L para Marco H	Strut tipo 41 mm X 41 mm	CADDY REF. 360423	42
27	Soporte muro	Angulo 1¼"X1¼"X1/8"	ACERO AL CARBÓN ASTM A-36	8
28	Dispositivo de aislamiento (resorte)		GREENHECK MODEL 850815	8

Fuente: Elaboración propia

En los anexos se tienen las especificaciones del sistema dadas por el software CAPS Engineer de Greenheck.

6.3.4. Filosofía de funcionamiento. Se distribuyeron dos (2) detectores de haz de luz (Beam detector) ubicado en la losa del piso 3 en el atrio (ver Figura 48), calibrados a 3,2% oscurecimiento por m (1% oscurecimiento por pie), estos deben estar conectados a un panel de detección contra incendio, con el fin de lograr una activación automática a una altura intermedia para permitir una detección temprana del sistema dentro de los primeros 10 s.

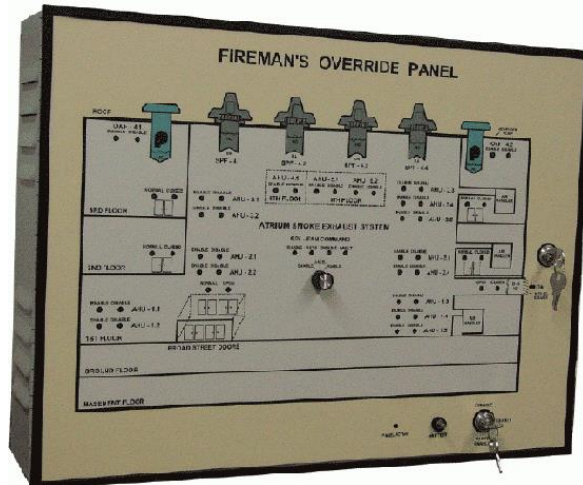
Figura 48. Ubicación detectores haz de luz y panel de detección



Fuente: Elaboración propia

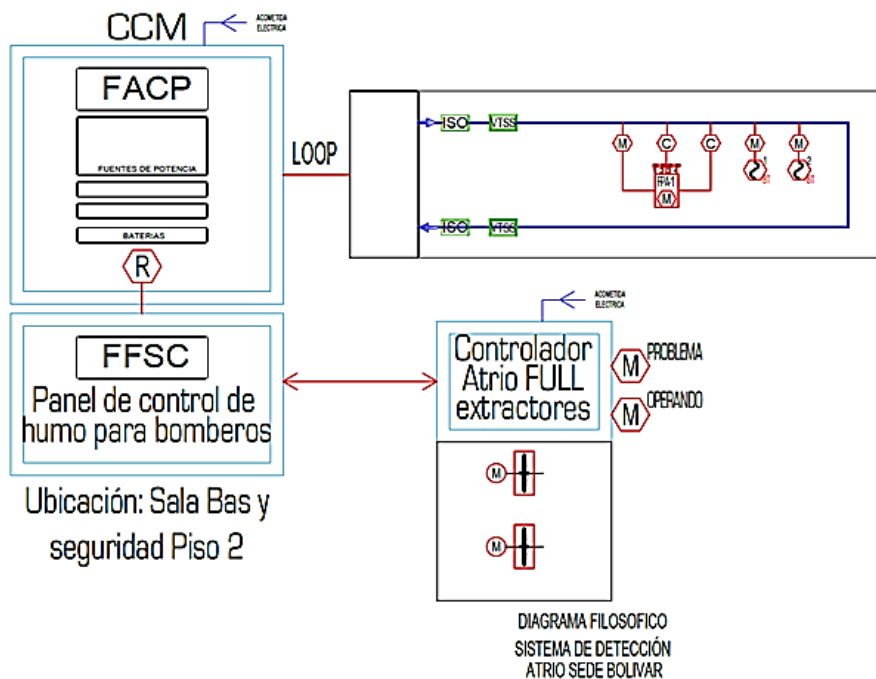
El sistema de extracción de humo debe estar controlado por un panel diseñado especialmente para esta aplicación, consistente en un mímico del edificio que contenga la ubicación de los principales elementos del sistema (ver Figura 49). Este panel debe ser monitoreado y controlado por el panel de detección del edificio, en la Figura 50 se ve el diagrama filosófico del sistema de detección.

Figura 49. Ejemplo panel de control de humos con mímico



Fuente: <http://www.adipanel.com>

Figura 50. Diagrama filosófico



Fuente: Elaboración propia

6.3.5. Presupuesto del sistema de extracción de humo. El sistema de extracción de humo para el atrio de la sede Bolívar de la Fundación los Libertadores tiene un valor total de construcción incluyendo el AIU (Administración, imprevisto y utilidades) de \$316,666.177.00, para detallar el presupuesto ver Anexo 1.

El retorno de esta inversión se logra con el valor de la prima de seguros, estas deben disminuir al tenerse un mayor grado de protección contra incendio, protegiendo a los ocupantes y a la propiedad.

6.3.6. Recomendaciones. Para una instalación sin contra tiempos se debe tener en cuenta:

- Realizar estudio estructural de la azotea para soportar los equipos del sistema de extracción de humos, este estudio debe ser realizado por un ingeniero civil.
- Se debe realizar un estudio de integración arquitectónica del sistema para no afectar en forma negativa la arquitectura del edificio.
- El sistema de detección y control del sistema de extracción de humos debe ser diseñado y revisado por un ingeniero electrónico con certificación de especialista en protección contra incendios (CEPI)

7. CONCLUSIONES

Al construirse el sistema de extracción de humo del atrio de la sede Bolívar se mejorarán las condiciones de seguridad humana de la edificación, evitando la pérdida de vida de personal académico y no académico en caso de un incendio, de acuerdo a los objetivos propuestos se concluye que:

- Al analizar los escenarios posibles de un incendio se determinó que el más probable es el ocasionado en el centro del atrio desarrollado en pluma axisimétrica con una carga calorífica de 2000 KW
- Se requiere una capacidad de extracción total de 73 260 L/s con 8 rejillas de 1000mmX1000mm distribuidas simétricamente en el techo, esto es distribuido en 2 sistemas simétricos con extractores de capacidad individual de 36 630 L/s, con una presión total de 768 Pa y temperatura de operación de humo de 32°C.
- Con la capacidad de extracción y la planimetría del sistema, se seleccionó un extractor GREENHECK AX-160-533-0816-B600 con una capacidad de extracción de 36 630 L/s, presión total de 768 Pa y clasificación HT-I para soportar una temperatura de 150 °C por 5 horas. Los ductos serán en lámina de acero A36 calibre 16 con dimensiones de Ø1600mm a 900mmX900mm y ramales conectados a 4 rejillas de 1000mmX1000mm, esto para cada sistema simétrico con un total de 2 sistemas.
- Se definieron los protocolos de activación de acuerdo a un sistema de detección y control de acuerdo al numeral 4.3.8 y 6.3.4, estos se muestran de forma genérica en el plano “Diagrama Típico de Detección y Control Del Sistema De Extracción De Humos Atrio Sede Bolívar”
- Se detallo una metodología de diseño y se calculó el sistema de extracción de humo requerido para el atrio de la sede Bolívar de Fundación Universitaria Los Libertadores, como resultado está el plano “Sistema De Extracción De Humos Atrio Sede Bolívar” y el listado de materiales en el numeral 6.3.3

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (2007). *2007 ASHRAE Handbook - HVAC Applications (I-P)*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers.
- BUCHANAN, A. L. (1992). *Report on Fire in Atrium Buildings Problems and Control*. Dr A. Buchanan.
- DINENNO, P. J., DRYSDALE, D., BEYLER, C. L., WALTON, W. D., CUSTER, R. L., HALL, J. R., & WATTS, J. M. (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, Massachusetts, USA: Editorial Staff.
- FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES. (29 de Octubre de 2018). *Fundación Universitaria los Libertadores*. Obtenido de <http://www.ulibertadores.edu.co/institucion/planta-fisica/>
- GAGNON, R. M. (2005). *Designer's guide to automatic sprinkler systems*. Bethesda, USA: Society of Fire Protection Engineers.
- HADJISOPHOCLEUS, G., & ZHOU, J. (2008). *Evaluation of atrium smoke exhaust makeup air velocity*. ASHRAE Transactions.
- HARRISON, R., & SPEARPOINT, J. (2006). *Smoke management issues in buildings with large enclosures*. Melbourne: Fire Australia.
- HESKESTAD, G. (1984). Engineering relations for fire plumes. *Fire Safety Journal*, 7, 25-32. doi:10.1016/0379-7112(84)90005-5
- IDEAM; ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. (2004). *Estudio de la Carcterización Climatica de Bogotá y Cuenca Alta del Rio Tunjuelo*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM".
- KLOTE, J. (1994). *Method of Predicting Smoke Movement in Atria With Application to Smoke Management*. Gaithersburg, Maryland, USA: National Institute of Standard and Technology.
- KLOTE, J. H., Milke, J. A., Turnbull, P. G., Kashef, A., & Ferreira, M. J. (2012). *Handbook of Smoke Control Engineering*. Atlanta, USA: ASHRAE.
- KLOTHE, J. (2000). An Overview of Atrium Smoke Management. *Fire Protection Engineering*, 32.
- LAWSON, J. R., WALTON, W. D., & TWILLEY, W. H. (1983). *Fire Performance of Furnishings as Measured in the NBS Furniture Calorimeter. Part I*. Washington, DC: U.S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards.
- NFPA 101. (2018). *Life Safety Code*. Maryland, USA: NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.
- NFPA 92. (2018). *Standard for Smoke Control Systems*. Maryland, USA: NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.
- NIST. (2005). *Smoke Management Systems*. Washington: NIST.

- NIST. (10 de 2018). *NIST MULTIZONE MODELING*. Obtenido de <https://www.nist.gov/el/energy-and-environment-division-73200/nist-multizone-modeling/smoke-management>
- SFPE. (12 de 01 de 2019). *RECENT DEVELOPMENTS IN SMOKE MANAGEMENT SYSTEMS*. Obtenido de https://www.sfpe.org/page/FPE_ET_Issue_12
- SMACNA. (2005). *HVAC DUCT CONSTRUCTION STANDARDS* (Third Edition ed.). Chantilly: SHEET METAL & AIR CONDITIONING CONTRACTORS' NATIONAL ASSOCIATION.
- SMACNA. (2006). *HVAC Systems Duct Design* (4 ed.). Chantilly, USA: SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTORS' NATIONAL ASSOCIATION INC.
- SYSTEM SENSOR. (2007). *MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO BEAM1224, BEAM1224S Detectores de humo por haz proyectado*. Illinois.

ANEXOS

ANEXO 1. Presupuesto sistema de extracción de humo

LISTA DE ELEMENTOS								
I T E M	DESCRIPCION	DIMENSIONE S	REFERENCIA	C A N T	SUMINISTRO		MONTAJE	
					UNITARI O	TOTAL	UNITARIO	TOTAL
1	EXTRACTOR GREENHEECK Ref. AX-160-533-0816-B600 CAPACIDAD 36300 L/s	Ø1600 mm	HT-I (150 C / 300 F for 5 hours)	2	\$ 15,000	\$ 30,000	\$ 2,000	\$ 4,000
2	Caperuza tipo hongo	Ø3200 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 1,000	\$ 2,000	\$ 300	\$ 600
3	Ducto circular L=1,5m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 300	\$ 600	\$ 90	\$ 180
4	Codo circular 5 secciones	Ø1600 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 600	\$ 1,200	\$ 180	\$ 360
5	Ducto circular L=5,6m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 1,080	\$ 2,160	\$ 324	\$ 648
6	Ducto circular L=2,8m	Ø1600 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 540	\$ 1,080	\$ 162	\$ 324
7	Contracción Rectangular a circular ángulo 22°	1500 mm X1500 mm a Ø1600mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 600	\$ 1,200	\$ 180	\$ 360
8	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1500 mm X ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 470	\$ 940	\$ 141	\$ 282
9	Transición Rectangular 45°	1500 mm X 1500 mm A 1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 650	\$ 1,300	\$ 195	\$ 390

ANEXO 1: (Continuación)

I T E M	DESCRIPCION	DIMENSIONE S	REFERENCIA	C A N T	SUMINISTRO		MONTAJE	
					UN.	TOTAL	UN.	TOTAL
10	Ducto rectangular L= 3,62m	1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 750	\$ 1,500	\$ 225	\$ 450
11	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1300 mm X ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 470	\$ 940	\$ 141	\$ 282
12	Transición Rectangular 45°	1300 mm X A 1100 mm X 1100 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 390	\$ 780	\$ 117	\$ 234
13	Ducto rectangular L= 2,1m	1300 mm X 1300 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 420	\$ 840	\$ 126	\$ 252
14	Tee convergente con entrada a 45° a ducto principal	1100 mm X ramal de 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 450	\$ 900	\$ 135	\$ 270
15	Transición Rectangular 45°	1100 mm X A 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 390	\$ 780	\$ 117	\$ 234
16	Ducto rectangular L= 2,1m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 300	\$ 600	\$ 90	\$ 180
17	Codo rectangular con 11 Vanes (R=114mm, S=83mm)	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	14	\$ 14	\$ 196	\$ 4	\$ 59

ANEXO 1: (Continuación)

I T E M	DESCRIPCION	DIMENSIONE S	REFERENCIA	C A N T	SUMINISTRO		MONTAJE	
					UN.	TOTAL	UN.	TOTAL
18	Ducto rectangular L= 2,3m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 320	\$ 640	\$ 96	\$ 192
19	Ducto rectangular L= 0,4m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 60	\$ 120	\$ 18	\$ 36
20	Ducto rectangular L= 3,34m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	4	\$ 460	\$ 1,840	\$ 138	\$ 552
21	Contracción Rectangular 45°	1000 mm X 1000 mm A 900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	8	\$ 125	\$ 1,000	\$ 38	\$ 300
22	Rejilla greenheck ESU-153	1000 mm X 1000 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	8	\$ 550	\$ 4,400	\$ 60	\$ 480
23	Ducto rectangular L= 0,50m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 70	\$ 140	\$ 21	\$ 42
24	Ducto rectangular L= 0,40m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 60	\$ 120	\$ 18	\$ 36
25	Ducto rectangular L= 1,93m	900 mm X 900 mm	ACERO AL CARBON ASTM A-36	2	\$ 270	\$ 540	\$ 81	\$ 162
26	Soporte Marco H de CADDY Pyramid Ref. 360423 en caucho, incluye 2 postes bases, con hardware preinstalado, 6 pernos, 6 tuercas tipo strut y 2 soportes L para Marco H	Strut tipo 41 mm X 41 mm	CADDY REF. 360423	42	\$ 350	\$ 14,700	\$ 50	\$ 2,100

ANEXO 1: (Continuación)

I T E M	DESCRIPCION	DIMENSIONE S	REFERENCIA	C A N T	SUMINISTRO		MONTAJE	
					UN.	TOTAL	UN.	TOTAL
27	Soporte muro	Angulo 1¼"X1¼"X1/8"	ACERO AL CARBON ASTM A-36	8	\$ 70	\$ 560	\$ 15	\$ 120
28	Dispositivo de aislamiento (resorte)		GREENHECK MODEL 850815	8	\$ 100	\$ 800	\$ 20	\$ 160

Vr dólar	\$ 3,100	Vr. En dolar	Vr. En Pesos
MATERIALES		\$ 71,876	\$ 222,815,600
MONTAJE		\$ 13,285	\$ 41,182,880
SUBTOTAL CONSTRUCCION		\$ 85,161	\$ 263,998,480
10% ADMINISTRACION		\$ 8,516	\$ 26,399,848
4% IMPREVISTOS		\$ 3,406	\$ 10,559,939
5% UTILIDAD		\$ 4,258	\$ 13,199,924
19% IVA SOBRE UTILIDAD		\$ 809	\$ 2,507,986
TOTAL CONSTRUCCION		\$ 102,150	\$ 316,666,177

ANEXO 2. Manuales de equipos del sistema de extracción de humos

SUBMITTAL

Job Title: **FULL**

Job Site: **FUNDACION UNIVERSITARIA LOS LIBERTA**

Bogotá,
Colombia

Elevation: (m) **8,353**

Date: **1/31/2019**

Submitted By: **John Doe**

**INTERNATIONAL ENGINEER OFFICE
100 GREENHECK DR
SCHOFIELD, WI 54476
US**

Phone: (715)355-2345

Fax: (715)355-6484

Email Address: jcalbat@libertadores.edu.co



P.O. Box 410 Schofield, WI 54476 (715) 359-6171 FAX (715) 355-2399 www.greenheck.com

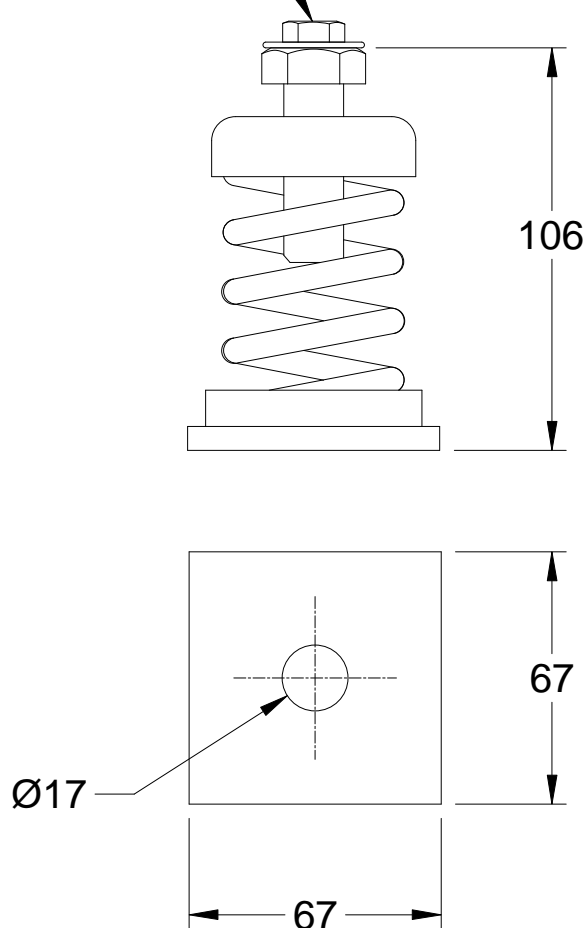
Generated by: jcalbat@libertadores.edu.co
E:\CAPS\Jobs\FULL.gfcj

850815

Standard Construction Features:

The spring base isolator is designed for use in isolation floor mounted sources of noise and vibration located near critically quiet areas. A lateral spring stiffness greater than 1.0 times the rated vertical stiffness and a minimum of 50% overload capacity assures stability of the isolator. The isolator has an epoxy powder coated spring which is color coded according to load capacity.

Spring Base Deflection - Vibration Isolator
Ø $\frac{3}{8}$ in. (9.5mm) Bolt



Notes: All dimensions shown are in units of mm

Performance	
Quantity	1
Volume (L/sec)	36,637
Total External SP (Pa)	627.1
Total TP (Pa)	768.2
Operating Power (kW)	41.62
Required Power (kW)	43.16
Fan RPM	1170
Elevation (m)	2,546
Start-up Temp.(C)	21
Operating Temp.(C)	32

Fan Configuration	
Size	160
Discharge Position	Horizontal
Mounting	Base Mount
Material Type	Steel
Casing Style	Long

Equipment Weights	
Fan (LMD)(kg)	499
Motor/Drive (kg)	524
Accessories (kg)	73

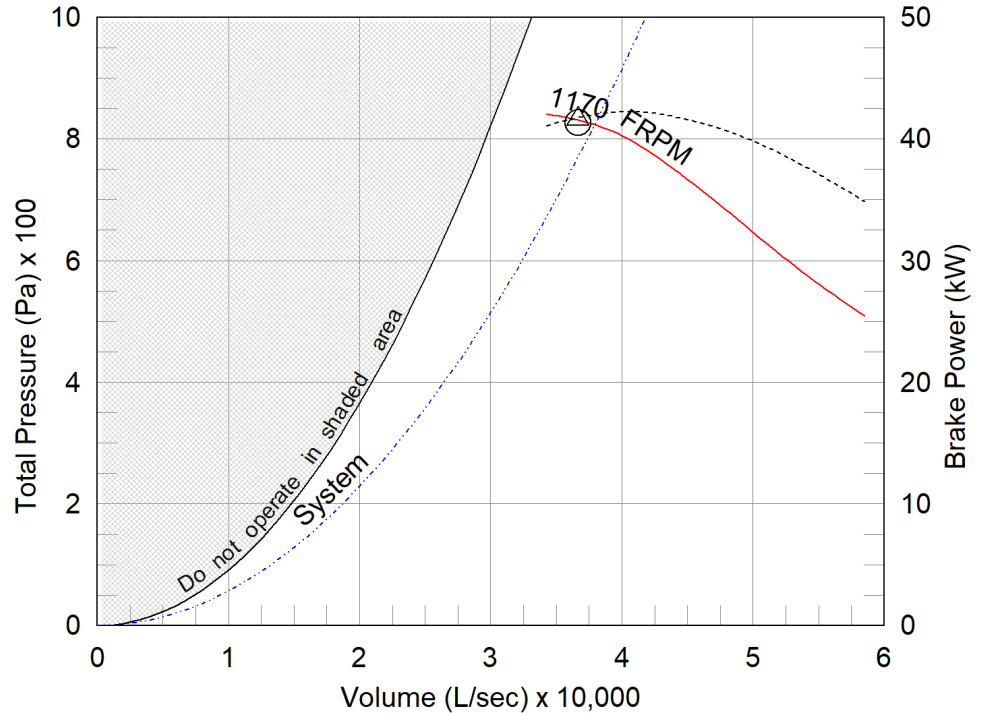
Misc Fan Data	
FEG	75
Outlet Velocity (m/sec)	18.217
Static Efficiency (%)	55
Tip Speed (m/sec)	98.029

Motor and Drives	
Motor	Included
Size (hp)	60
RPM	1170
Enclosure	TEAO
V/C/P	460/60/3
Frame Size	404T
Max Frame Size	405
Location	N/A

Model: AX-160-533-0824-B600

Medium Pressure Direct Drive Axial

Operating Performance



- △ Operating BkW point
- Operating point at Total External TP
- Fan curve
- - - System curve
- - - Brake kilowatts curve
- | Min. Damper Volume

Total Pressure Calculations

External TP	768 Pa
Direct Drive RPM Static Adj	0.2 Pa
Total TP	768.2 Pa

Sound Power by Octave Band

Sound Data	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LwA	dBA
Inlet	107	108	108	106	102	97	94	90	108	96

LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4

dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per octave band at 1.52 m- dBA levels are not licensed by AMCA International



Model: AX-160-533-0824-B600

Medium Pressure Direct Drive Axial

Standard Construction Features:

CASING: Continuously welded heavy gauge steel coated with Permator coating - Inlet and outlet flanges with mounting holes - Corrosion resistant fasteners - Motor support rigidly formed and welded to the casing

PROPELLER: Cast aluminum airfoil blade and hub - Manually adjustable blade pitch

Selected Options & Accessories:

Motor with Class F or Greater Insulation

Extended Motor Leads

Coating - Permator, Concrete Gray-RAL 7023, Fan and Attached Accessories

Switch - NEMA-3R, Toggle, For Indoor or Outdoor Use, Ship Separate

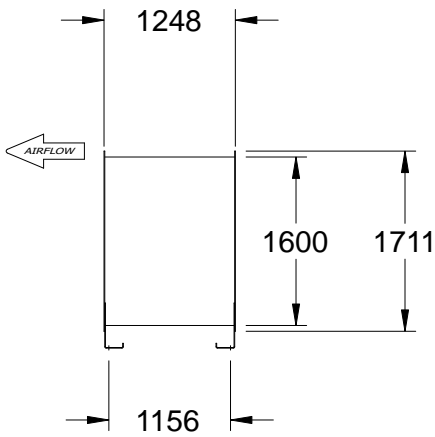
Mounting Support - Universal

HT-I(150 C / 300 F for 5 hours)

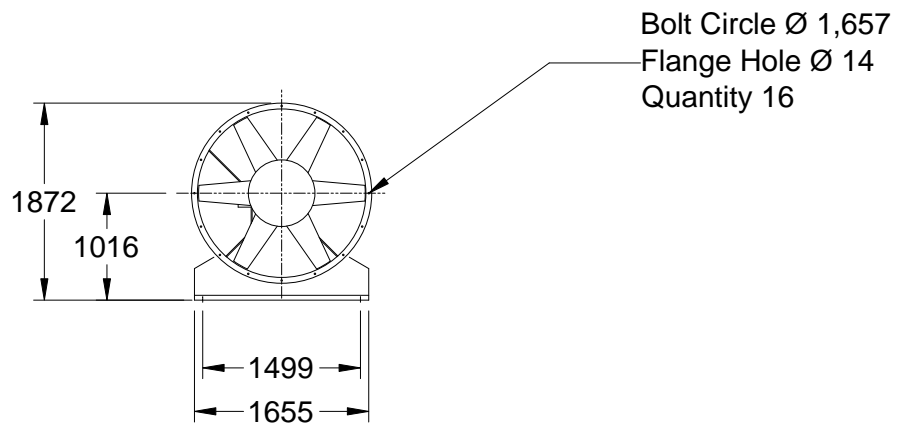
Union Label Required

Unit Warranty: 1 Yr (Standard)

Model: AX-160-533-0824-B600 Medium Pressure Direct Drive Axial



SIDE VIEW



END VIEW

21 DIA. MOUNTING HOLES
END VIEW SHOWS FROM INLET END OF UNIT

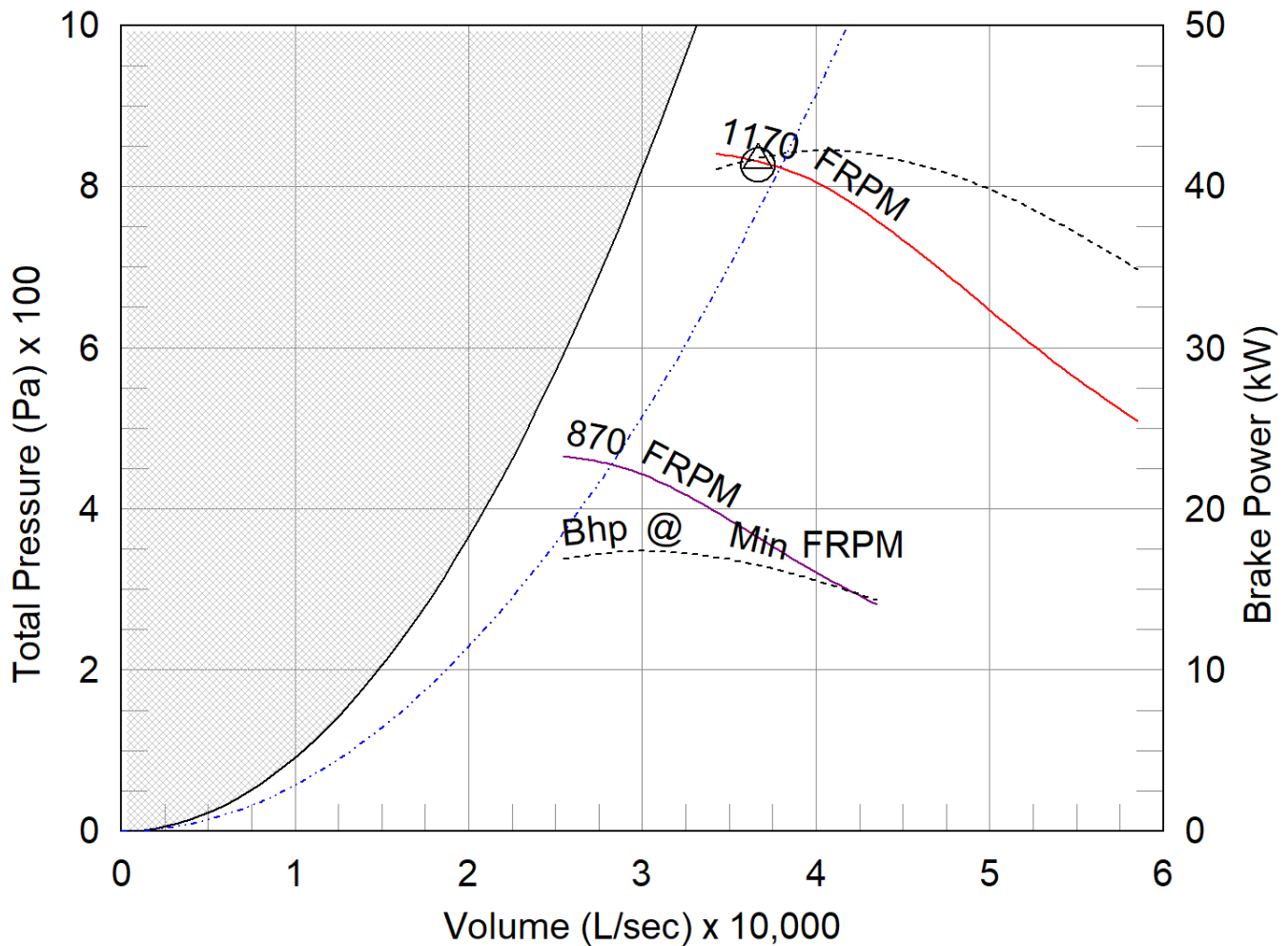
Notes: All dimensions shown are in units of mm

AX-160-533-0824-B600

Min/Max Fan Curve

Performance

Requested Volume (L/sec)	Actual Volume (L/sec)	External SP (Pa)	Total SP (Pa)	Fan RPM	Operating Power (kW)
36,632	36,637		627.1	1170	41.62



- △ Operating BkW point
- Operating point at Total External TP
- Construction Limit
- Fan curve
- Min FRPM
- System curve
- Brake kilowatts curve
- | Min. Damper Volume

Warranty - 1 Yr (Standard)

WARRANTY AND LIABILITY: SELLER warrants to Buyer that products manufactured are free from defects in material and workmanship for a period of 1 Yr (Standard) from the date of shipment. SELLER's obligations and liabilities under this warranty are limited to furnishing FOB factory or warehouse at SELLER's designated shipping point, freight allowed to Buyer's city, (or point of export for shipments outside the conterminous United States) replacement equipment (or at the option of SELLER parts therefore) for all Seller's products not conforming to this warranty and which have been returned to the manufacturer. No liability whatever shall attach to SELLER until said products have been paid for and such liability shall be strictly limited to the purchase price of the equipment shown to be defective. SELLER may make further warranty protection available on an optional extra-cost basis and which must be authorized and in writing.

Motors are warranted by the motor manufacturer for a period of one year. Should motors furnished by SELLER prove defective during this period, they should be returned to the nearest authorized motor service station. SELLER will not be responsible for any removal or installation costs.

Electrical components, excluding motors, are warranted only to the extent warranted by the original manufacturer. To the extent that SELLER is entitled to pass through a warranty of the original equipment manufacturer of the electrical goods sold, SELLER will pass through such warranties to Buyer.

ANY MISUSE, NEGLIGENCE, FAILURE TO FOLLOW INSTRUCTIONS OR MANUALS OF INSTALLATION OF MAINTENANCE REPAIR, SERVICE, RELOCATION OR ALTERATION TO OR OF, OR OTHER TAMPERING WITH, THE PRODUCTS PERFORMED BY ANY PERSON OR ENTITY OTHER THAN SELLER WITHOUT SELLER'S PRIOR WRITTEN APPROVAL OR ANY USE OF REPLACEMENT PARTS NOT SUPPLIED BY SELLER, SHALL IMMEDIATELY VOID AND CANCEL ALL WARRANTIES WITH RESPECT TO THE AFFECTED PRODUCTS.

THE WARRANTY AND LIABILITY SET FORTH HEREIN ARE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES AND LIABILITIES WHETHER IN CONTRACT OR IN NEGLIGENCE, EXPRESSED OR IMPLIED, IN LAW OR IN FACT, INCLUDING IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE. SELLER PROVIDES NO INDEPENDENT WARRANTY FOR THIRD PARTY PRODUCTS OR COMPONENTS SOLD TOGETHER OR INCORPORATED WITH SELLER'S PRODUCT(S).

AMCA



AMCA Licensed for Air Performance. Power rating (BHP/kW) does not include transmission losses.

Greenheck Fan Corporation certifies that the model shown herein is licensed to bear the AMCA Seal. The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only. Performance certified is for installation type B: Free inlet, Ducted outlet. Power rating (BHP/kW) does not include drive losses. Performance ratings do not include the effects of appurtenances in the airstream.

ESU-153 36 mm Depth, 30 deg Blade

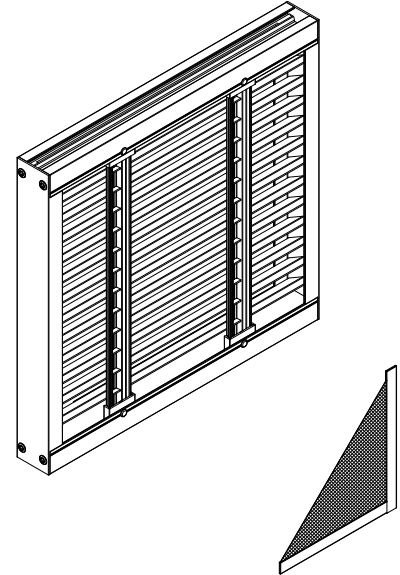
APPLICATION & DESIGN

The ESU-153 is a thin-line stationary louver commonly used for interior or exterior applications where high free area and low airflow resistance is required. The narrow frame depth and various frame options make them ideal products for installation into curtainwall, windows, door louvers and as air conditioning grilles.

PRODUCT DETAILS

Frame:	38 mm x 2 mm Frame Thickness
Frame Type:	Channel
Blades:	1 mm Fixed Blade Thickness
Material:	Aluminum
Sizing:	Actual
Shape:	Rectangular
Construction:	Mechanically Fastened

Internal View



OPTIONS & ACCESSORIES

Finish:	Mill
Insect Screen:	Aluminum, Internal
Warranty:	1 Yr (Standard) Product Warranty

SUMMARY

ID #	TAG	QTY.	W (mm)	H (mm)	FREE AREA (m2)	FREE AREA (%)	SECT. WIDE	SECT. HIGH	SHIP SECT.
5-1		8	1,000	1,000	0.68	67.8	1	1	8

Total Louver Qty: 8

Total Ship Sect.: 8

Larger openings may require field assembly of multiple louver panels to make up the overall opening size. Individual louver panels are designed to withstand windloads up to a maximum of 1.197 kPa (size and configuration dependent). Design, materials and installation of structural reinforcement required to adequately support large sections or multiple section assemblies within a large opening are not provided by Greenheck. Options and accessories including, but not limited to, screens, filter racks, louver doors, and blankoff panels are not subject to structural analysis unless indicated otherwise by Greenheck. Unless specifically indicated, the following are NOT included in the quote provided: structural steel, installation hardware (anchors, angle clips, continuous angles, shims, fasteners, inserts, backer rod and sealant), field measuring and/or installation, miscellaneous flashing, trim or enclosures, blank off panels, mullion covers or mullion hardware, hinged frames or removable subframes, custom bird/insect screen, 3-coat, metallic and/or exotic paint finishes, bituminous paints for unlike metals, any applicable taxes, stamped and sealed structural calculations seismic calculations or job specific engineered submittal drawings.

Louvers Product Limited Warranty

Thank you for purchasing Greenheck louvers. Greenheck warrants this equipment to be free from defect in material and workmanship for a period of **1 year** from the date of product shipment. Any units or parts, which prove defective during the warranty period, will be repaired or replaced at our option when returned to our factory, transportation prepaid. Unless agreed upon otherwise Greenheck will not be held responsible for costs associated with removal or installation of product(s).

The legal remedies described in this Limited Warranty are the sole exclusive remedy of Customer. This limited warranty will be void if payment from Customer is not received within a commercially reasonable time frame. GREENHECK MAKES NO OTHER WARRANTY, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING ITS PRODUCTS, OR ITS SELECTION AND APPLICATION, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, COMPLIANCE WITH BUILDING CODES, SAFETY CODES, LAWS, MERCHANTABILITY OR FITNESS OR A PARTICULAR PURPOSE. This limited warranty is extended solely to the Customer. It is nontransferable and non-assignable, and the Customer shall not permit or authorize its employees, agents, representatives or customers to claim, represent or imply that this limited warranty extends or is available to anyone other than the Customer.

In the event of material breach by the Customer of any of the conditions of this warranty, Greenheck shall have no liability for and product failure claims.

Failure to pay Greenheck in full for original services will automatically make this warranty null and void.

Greenheck will not be held liable for incidental or consequential damages of any kind. The limited warranty of product(s) replaced or repaired under this limited warranty shall be limited to the remainder of the original warranty period. Greenheck reserves the right to reasonable field access to diagnose and repair any product alleged to be defective. This limited warranty may not be modified by anyone and may not be changed by such things as purchase order forms or acceptance forms, unless otherwise agreed upon by Greenheck.

This limited warranty is provided in lieu of any other warranty requirements or obligations, including, but not limited to, those within project specifications.

All notices and claims given under or pursuant to this agreement shall be in writing and sent by certified or registered mail, postage prepaid, return receipt requested to: Greenheck, Attn: Louver Sales, 525 Western Road, Schofield, WI 54476.

By proceeding to use our products and services on your project, you accept the terms of these limited warranties.

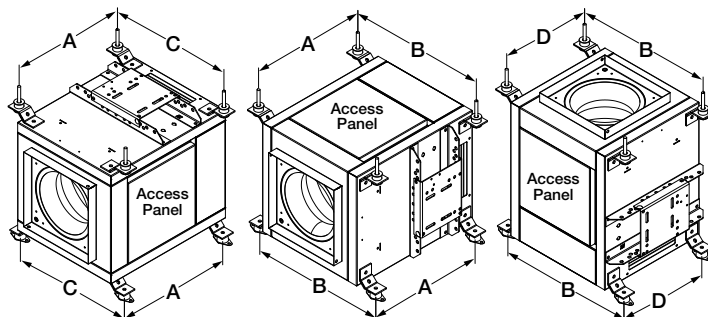
Installation, Operation and Maintenance Manual

Please read and save these instructions for future reference. Read carefully before attempting to assemble, install, operate or maintain the product described. Protect yourself and others by observing all safety information. Failure to comply with these instructions will result in voiding of the product warranty and may result in personal injury and/or property damage.

Vibration Isolator Dimensional Data

Model	A	B	C	D
BDF-80	20 ³ / ₄ (527)	—	22 ¹ / ₁₆ (576)	—
BDF-90	21 ³ / ₄ (552)	—	25 ⁵ / ₈ (651)	—
BDF-100	23 ³ / ₄ (603)	—	27 ¹ / ₈ (689)	—
BDF-120	30 ¹ / ₂ (775)	—	31 ⁵ / ₈ (803)	—
BDF-150	32 (813)	—	35 (889)	—
BDF-180	37 ³ / ₈ (949)	—	44 (1118)	—
BDF-200	47 ³ / ₈ (1203)	—	51 ¹ / ₂ (1308)	—
SQ 60-75	10 ⁵ / ₈ (270)	17 (432)	15 ³ / ₄ (400)	8 ⁷ / ₈ (225)
SQ 80-95	13 ¹ / ₄ (337)	20 ¹ / ₈ (511)	18 ³ / ₄ (476)	11 ¹ / ₈ (302)
SQ 97-99	18 ⁵ / ₈ (473)	20 ¹ / ₈ (511)	18 ³ / ₄ (476)	11 ¹ / ₈ (302)
SQ-100	18 ⁵ / ₈ (473)	22 ¹ / ₈ (562)	20 ³ / ₄ (527)	13 ³ / ₈ (352)
SQ-120	18 ⁵ / ₈ (473)	24 (610)	22 ³ / ₄ (578)	16 (406)
SQ-130 (HP)	18 ⁵ / ₈ (473)	26 ¹ / ₈ (664)	24 ³ / ₄ (629)	17 ¹ / ₈ (454)
SQ-140 (HP)	19 ⁵ / ₈ (498)	28 ¹ / ₈ (714)	26 ³ / ₄ (679)	19 ⁵ / ₈ (505)
SQ-160 (HP)	23 ¹ / ₂ (597)	31 (787)	29 ³ / ₄ (756)	22 ⁷ / ₈ (581)
BSQ 70-90	18 ⁵ / ₈ (473)	20 ¹ / ₈ (511)	18 ³ / ₄ (476)	11 ¹ / ₈ (302)
BSQ 100	18 ⁵ / ₈ (473)	22 ¹ / ₈ (562)	20 ³ / ₄ (527)	13 ³ / ₈ (352)
BSQ 120	18 ⁵ / ₈ (473)	24 (610)	22 ³ / ₄ (578)	16 (406)
BSQ 130 (HP)	18 ⁵ / ₈ (473)	26 ¹ / ₈ (664)	24 ³ / ₄ (629)	17 ¹ / ₈ (454)
BSQ 140 (HP)	19 ⁵ / ₈ (498)	28 ¹ / ₈ (714)	26 ³ / ₄ (679)	19 ⁵ / ₈ (505)
BSQ 160 (HP)	23 ¹ / ₂ (597)	31 (787)	29 ³ / ₄ (756)	22 ⁷ / ₈ (581)
BSQ 180 (HP)	25 ¹ / ₂ (648)	33 ¹ / ₂ (851)	29 ⁹ / ₁₆ (751)	22 ³ / ₄ (578)
BSQ 200 (HP)	29 ¹ / ₈ (740)	37 (940)	33 ³ / ₄ (857)	26 ³ / ₄ (679)
BSQ 240 (HP)	31 ⁵ / ₈ (803)	44 ¹ / ₄ (1124)	40 ³ / ₄ (1035)	33 ³ / ₈ (860)
BSQ 300 (HP)	35 (889)	51 (1295)	47 ³ / ₄ (1213)	40 ⁷ / ₈ (1038)
BSQ 360 (HP)	38 ³ / ₄ (974)	57 ¹ / ₄ (1454)	53 ¹ / ₂ (1359)	46 ³ / ₄ (1187)
BSQ 420 (HP)	47 ¹ / ₈ (1197)	63 (1600)	59 ⁷ / ₈ (1521)	59 ⁷ / ₈ (1521)

All dimensions in inches (millimeters).



Models
SQ / BSQ / BDF

Models
SQ / BSQ

Models
SQ / BSQ

Isolator Mounting

Upon receiving unit, check for any damage and report it immediately to the shipper. Also, check to see that all accessory items are accounted for.

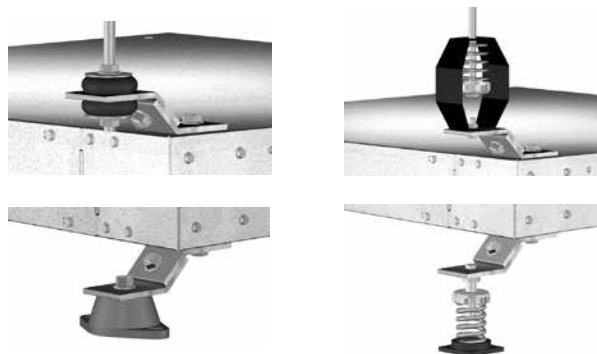
Move fan to the desired location and determine the position in which the unit is to be mounted. Punch out four (4) knock-out holes which are located on the unit top and bottom panels. Assemble the brackets to the unit according to the drawings below and refer to respective parts list (reverse side). Make certain all connectors are tight and that all washers are used.

REPLACEMENT SPRING ISOLATOR(S)

MODEL	FAN SIZES				
BDF	----	80-90	100-120	150-180	200
BSQ	----	70-130	140-200	240-300	360-420
SQ	60-100	120-140	160	----	----
BASE MOUNT	FDS-1-35 BLUE	FDS-1-70 GREEN	FDS 1-120 GRAY	FDS-1-220 BROWN	FDS-1-370 ORANGE
HANGING	SH-1-35 BLUE	SH-1-70 GREEN	SH-1-125 GRAY	SH-1-245 BROWN	SH-1-370 ORANGE

REPLACEMENT NEOPRENE ISOLATOR(S)

MODEL	FAN SIZE		
BDF	80-100	120-150	180-200
BSQ	70-140	160-200	240-420
SQ	60-140	160	----
BASE MOUNT	R-1 GREEN	R-2 BLACK	R-2 RED
HANGING	40DUR BLACK	50DUR BLACK	50DUR BLACK



Pre-Starting Checks

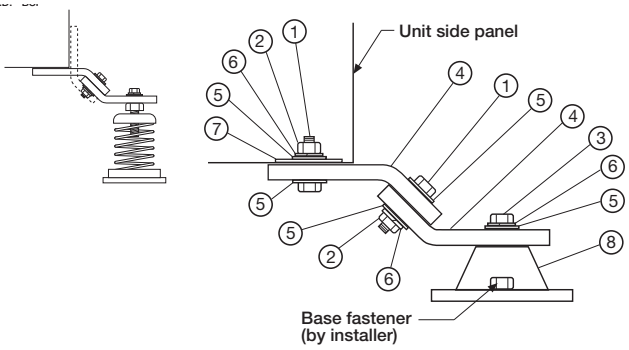
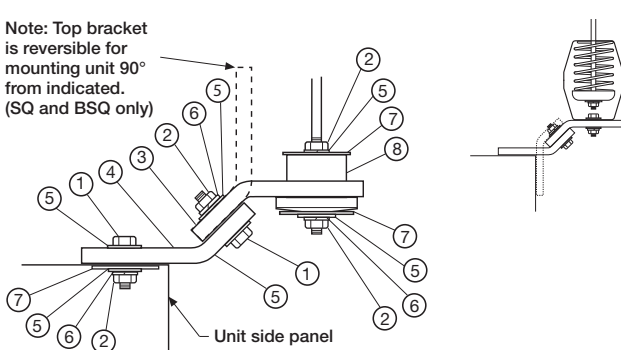
Check all fasteners for tightness.

Maintenance

All fasteners should be checked for tightness each time maintenance checks are performed prior to restarting the unit. A proper maintenance program will help these units deliver years of dependable service.

NOTE: Before taking any corrective action, make certain unit is not capable of operation during repairs.

Isolator Parts List

STANDING SUPPORT ISOLATOR					HANGING SUPPORT ISOLATOR				
									
No	Qty	Description	SQ-60 thru 140 BSQ-100 thru 140 BDF-80 thru 150	SQ-160 BSQ-160 thru 420 BDF-180 thru 200	No	Qty	Description	SQ-60 thru 140 BSQ-100 thru 140 BDF-80 thru 150	SQ-160 BSQ-160 thru 420 BDF-180 thru 200
1	8	Cadmium plated hex head bolts	3/8 in. - 16 x 1 in.	3/8 in. - 16 x 1 1/4 in.	1	8	Cadmium plated hex head bolts	3/8 in. - 16 x 1 in.	3/8 in. - 16 x 1 1/4 in.
2	8	Cadmium plated hex nuts	3/8 in. - 16	3/8 in. - 16	2	16	Cadmium plated hex nuts	3/8 in. - 16	3/8 in. - 16
3	4	Cadmium plated hex head bolts	5/16 in. - 18 x 1 in.	3/8 in. - 16 x 1 in.	3	4	St. mount bracket w/1 - 1/4 in hole	3/16 in.	1/4 in.
4	8	St. mount bracket w/2 - 7/16 in. holes	3/16 in.	1/4 in.	4	4	St. mount bracket w/2 - 7/16 in. holes	3/16 in.	1/4 in.
5	20	Cadmium plated washer	7/8 in. O.D x 3/8 in. I.D. x 1/16 in.	7/8 in. O.D x 3/8 in. I.D. x 1/16 in.	5	24	Cadmium plated washer	7/8 in. O.D x 3/8 in. I.D. x 1/16 in.	7/8 in. O.D x 3/8 in. I.D. x 1/16 in.
6	12	Cadmium plated lock washer	3/8 in.	3/8 in.	6	12	Cadmium plated lock washer	3/8 in.	3/8 in.
7	4	Cadmium plated washer	1 3/8 in. O.D x 9/16 in. I.D. x 3/32 in.	1 3/8 in. O.D x 9/16 in. I.D. x 3/32 in.	7	12	Cadmium plated washer	1 3/8 in. O.D x 9/16 in. I.D. x 3/32 in.	1 3/8 in. O.D x 9/16 in. I.D. x 3/32 in.
8	4	Neoprene or Spring Isolator	Reference appropriate table on page 1 for replacement Isolator(s)		8	4	Neoprene or Spring Isolator	Reference appropriate table on page 1 for replacement Isolator(s)	

Our Commitment

As a result of our commitment to continuous improvement, Greenheck reserves the right to change specifications without notice.

Specific Greenheck product warranties are located on greenheck.com within the product area tabs and in the Library under Warranties.

Greenheck Models SQ, BSQ and BDF catalogs provide additional information describing the equipment, fan performance, available accessories, and specification data.

AMCA Publication 410-96, Safety Practices for Users and Installers of Industrial and Commercial Fans, provides additional safety information. This publication can be obtained from AMCA International, Inc. at www.amca.org.



Installation, Operation and Maintenance Manual

Please read and save these instructions for future reference. Read carefully before attempting to assemble, install, operate or maintain the product described. Protect yourself and others by observing all safety information. Failure to comply with these instructions will result in voiding of the product warranty and may result in personal injury and/or property damage.



AX
Standard Long Casing



AX-V
Optional Vane Section



AX-U
Optional Roof Upblast

Table of Contents

Receiving, Unpacking Handling and Storage	2
Removing from Storage	2
Lifting	3
Effects of Installation on Performance	3
Typical Installation	4
Operation and Unit Start-Up	4
Performance Adjustments	
Field Performance Adjustments	5
Adjusting Performance with a Variable	
Frequency Drive	5
Adjusting Performance through Blade	
Pitch Adjustments	5
Torque Specifications for Bushing and	
Propeller Bolts	5
Maintenance	6
Parts List	6
Maintenance Log	7
Our Commitment	8

General Safety Information

Only qualified personnel should install this unit. Personnel should have a clear understanding of these instructions and should be aware of general safety precautions. Improper installation can result in electric shock, possible injury due to coming in contact with moving parts, as well as other potential hazards. Other considerations may be required if high winds or seismic activity are present. If more information is needed, contact a licensed professional engineer before moving forward.

1. Follow all local electrical and safety codes, as well as the National Electrical Code (NEC), the National Fire Protection Agency (NFPA), where applicable. Follow the Canadian Electric Code (CEC) in Canada.
2. The rotation of the propeller is critical. It must be free to rotate without striking or rubbing any stationary objects.
3. Motor must be securely and adequately grounded.
4. Do not spin fan propeller faster than the maximum cataloged fan rpm. Adjustments to fan speed with Variable Frequency Drives (VFD) may affect motor load. If the fan RPM is changed, the motor current should be checked to make sure it is not exceeding the motor nameplate amps.
5. Do not allow the power cable to kink or come in contact with oil, grease, hot surfaces or chemicals. Replace cord immediately if damaged.
6. Verify that the power source is compatible with the equipment.

DANGER

Always disconnect power before working on or near a unit. Lock and tag the disconnect switch or breaker to prevent accidental power up.

CAUTION

When servicing the unit, motor may be hot enough to cause pain or injury. Allow motor to cool before servicing.

Receiving

Upon receiving the product, check to ensure all items are accounted for by referencing the delivery receipt or packing list. Inspect each crate or carton for shipping damage before accepting delivery. Alert the carrier of any damage detected. The customer will make a notation of damage (or shortage of items) on the delivery receipt and all copies of the bill of lading which is countersigned by the delivering carrier. If damaged, immediately contact your Greenheck Representative. Any physical damage to the unit after acceptance is not the responsibility of Greenheck Fan Corporation.

Unpacking

Verify that all required parts and the correct quantity of each item have been received. If any items are missing, report shortages to your local representative to arrange for obtaining missing parts. Sometimes it is not possible that all items for the unit be shipped together due to availability of transportation and truck space. Confirmation of shipment(s) must be limited to only items on the bill of lading.

Handling

Handle in such a manner as to keep from scratching or chipping the coating. Fans should not be lifted by the motor shaft, motor housing or fan accessories. Damaged finish may reduce ability of unit to resist corrosion.

Storage

Units are protected against damage during shipment. If the unit cannot be installed and operated immediately, precautions need to be taken to prevent deterioration of the unit during storage. The user assumes responsibility of the unit and accessories while in storage. The manufacturer will not be responsible for damage during storage. These suggestions are provided solely as a convenience to the user.

INDOOR — The ideal environment for the storage of units and accessories is indoors, above grade, in a low humidity atmosphere which is sealed to prevent the entry of blowing dust, rain, or snow. Temperatures should be evenly maintained between 30°F (-1°C) and 110°F (43°C) (wide temperature swings may cause condensation and “sweating” of metal parts). All accessories must be stored indoors in a clean, dry atmosphere.

Remove any accumulations of dirt, water, ice, or snow and wipe dry before moving to indoor storage. To avoid “sweating” of metal parts allow cold parts to reach room temperature. To dry parts and packages, use a portable electric heater. Leave coverings loose to permit air circulation and to allow for periodic inspection.

The unit should be stored at least 3½ inches (89 mm) off the floor on wooden blocks covered with moisture proof paper or polyethylene sheathing. Aisles between parts and along all walls should be provided to permit air circulation and space for inspection.

OUTDOOR — Units designed for outdoor applications may be stored outdoors, if absolutely necessary. Roads or aisles for portable cranes and hauling equipment are needed.

The fan should be placed on a level surface to prevent water from leaking into the unit. The unit should be elevated on an adequate number of wooden blocks so that it is above water and snow levels and has enough blocking to prevent it from settling into soft ground. Locate parts far enough apart to permit air circulation, sunlight, and space for periodic inspection. To minimize water accumulation, place all unit parts on blocking supports so that rain water will run off.

Do not cover parts with plastic film or tarps as these cause condensation of moisture from the air passing through heating and cooling cycles.

Inspection and Maintenance during Storage

While in storage, inspect fans once per month. Keep a record of inspection and maintenance performed.

If moisture or dirt accumulations are found on parts, the source should be located and eliminated. At each inspection, rotate the fan propeller by hand ten to fifteen revolutions to distribute lubricant on motor. Every three months, the fan motor should be energized. If paint deterioration begins, consideration should be given to touch-up or repainting. Fans with special coatings may require special techniques for touch-up or repair.

Machined parts coated with rust preventive should be restored to good condition promptly if signs of rust occur. Immediately remove the original rust preventive coating with petroleum solvent and clean with lint-free cloths. Polish any remaining rust from surface with crocus cloth or fine emery paper and oil. Do not destroy the continuity of the surfaces. Wipe thoroughly clean with Tectyl® 506 (Ashland Inc.) or the equivalent. For hard to reach internal surfaces or for occasional use, consider using Tectyl® 511M Rust Preventive or WD-40® or the equivalent.

REMOVING FROM STORAGE — As units are removed from storage to be installed in their final location, they should be protected and maintained in a similar fashion, until the equipment goes into operation.

Prior to installing the unit and system components, inspect the unit assembly to make sure it is in working order.

1. Check all fasteners on the fan, propeller, motor base, and accessories for tightness.
2. Rotate the fan propeller by hand and assure no parts are rubbing.
3. Fans should not be lifted by the motor shaft, motor housing or fan accessories.

Lifting



**Standard
Long Casing**

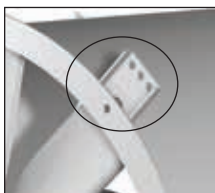


**Optional
Vane Section**

Fan models AX or AX-V are to be lifted using a minimum of four (4) points on the fan housing or attach two suitable chains/straps around the entire fan housing, one near each duct flange.

For flange mounted fans, attach suitably sized chains or lifting straps to two locations on the inlet and outlet flanges as shown.

For fans with Universal Mounting brackets, use brackets for lifting connection points.



**Optional
Roof Upblast**

Fan model AX-U are to be lifted using the four (4) windband gussets located between the butterfly damper section of the fan and the exterior windband **unless** welded lifting lugs are provided on fan housing. Welded lifting lugs are present on AX-113 thru AX-160. A spreader bar is recommended to prevent damage to the damper section when lifting.

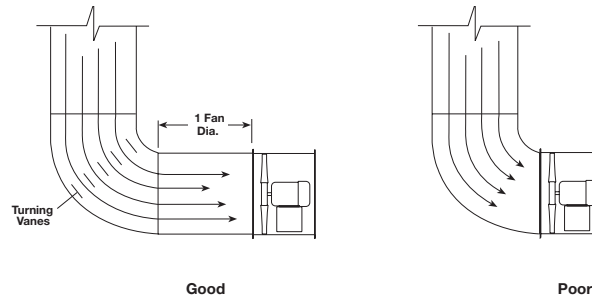


Effects of Installation on Performance

Any installation with inlet or discharge configurations that deviate from these recommendations may result in reduced fan performance. Restricted or unstable flow at the fan inlet can cause pre-rotation of incoming air or uneven loading of the fan propeller yielding large system losses and increased sound levels. Free discharge or turbulent flow in the discharge ductwork will also result in system effect losses.

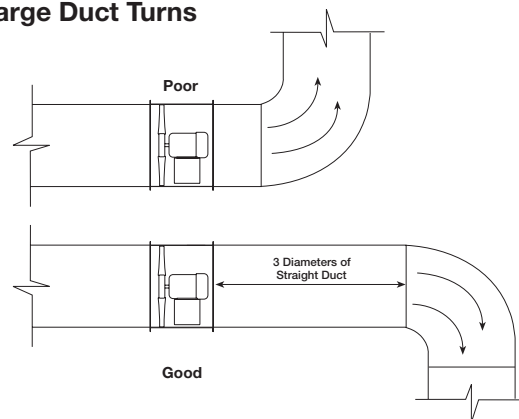
The most common inlet and discharge conditions which affect fan performance are:

Inlet Duct Turns



Installation of a duct turn or elbow too close to the fan inlet reduces fan performance because air is loaded unevenly into the fan prop. To achieve full fan performance there should be at least one to two fan diameters between the turn or elbow and the fan inlet.

Discharge Duct Turns



Fan performance is reduced when duct turns are made immediately off the fan discharge. To achieve cataloged fan performance, there should be at least three equivalent fan diameters of straight ductwork between the fan discharge and any duct turns.

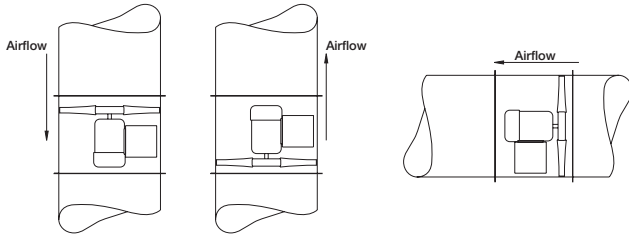
Typical Installations

The examples shown below are common installations of the different housing options with and without optional Universal Mounting Brackets. Before beginning installations, reference the airflow direction as indicated by the direction decal attached to the fan. Note that airflow for AX units with straightening vanes is opposite of the standard AX long casing design.



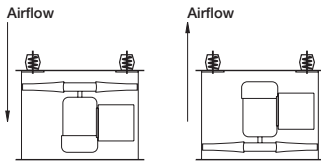
Units with Flange Mounting

• Upblast, Downblast or Horizontal

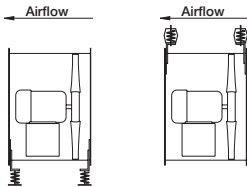


Units with Universal Mounting Brackets (Optional)

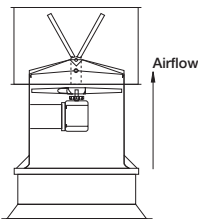
• Vertical, Ceiling Mount with Isolators, Downblast or Upblast



• Horizontal, Floor or Ceiling Mount with Isolators



Roof Upblast on a Roof Curb



Operation and Unit Start-Up

Electrical Connections

Before electrical connections are made, the supply voltage, phase and ampere capacity must be checked for compatibility with the fan motor. In addition, the supply wiring must be properly fused and conform to local and national electrical codes.

The supply wires are then connected to an **optional** safety disconnect switch, to the **optional** wiring pigtail, or directly to the motor junction box.

Pre-Start-Up Checks

1. Check all fasteners for tightness. Fasteners may come loose during transit or handling at the jobsite. This includes motor bolts, mounting brackets, and bushing bolts attaching the propeller to the motor shaft.
2. Propeller rotation should be in the same direction as the rotation decal affixed to the unit. For 3-phase installations, fan rotation can be reversed by simply interchanging any two of the three electrical leads. For single phase installations, follow the wiring diagram located on the motor.



**Propeller Rotation
Decal**

Performance Adjustments

Field Performance Adjustments

The performance of an AX fan can be adjusted through the use of a variable speed drive (VFD) or adjusting the fan pitch. Both can be effectively used for final air balancing. Note that any change, increase or decrease in fan speed (RPM) or blade pitch, can represent a substantial increase in power required from the motor. Check motor load amperage and compare to nameplate rating when changing the fan speed or blade pitch.

Adjusting Performance with a Variable Frequency Drive (VFD)

Before wiring a VFD, determine that the motor is compatible with this type of equipment. Connecting a VFD to a non-compatible motor may reduce the life of the motor. Additionally, it is important to properly ground fans being wired with a VFD. For more information on these subjects, refer to Greenheck document "Are Bearing Currents Causing Your Motor Failures?" located at www.greenheck.com. Click on Library, Application Articles, and use the keyword "VFD". Greenheck is not responsible for improper wiring of a VFD or for potential motor damage as a result of operating a fan over its maximum operating frequency.

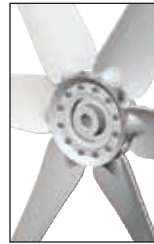
Adjusting Performance through Blade Pitch Adjustments

The blade pitch can be adjusted without removing the propeller from the fan casing. Steps to adjust the blade pitch are as follows:

1. Determine the new blade pitch required with your local Greenheck representative. Verify that the motor has sufficient capacity to handle the new power requirements.
2. Disconnect and lock out all power to the fan to prevent accidental start-up.
3. Gain access to the propeller side of the fan. This may require removing the fan from the existing duct system or dismantling ductwork to gain access.
4. Loosen the blades to the point where they can be rotated in the hub. Hub and blade fastening vary by fan size. Hub styles and bolt torque requirements are provided. Do NOT pound on the blades to adjust the pitch. They should be snug, but movable by hand.
5. Use the blade pitch protractor found on Greenheck's website (www.greenheck.com) to adjust the pitch. Follow the directions stated on the guide for determining blade pitch.
6. Adjust one blade to the desired pitch angle and remove the protractor sheet.
7. Use a marker to trace the profile of the blade on the fan housing.
8. Adjust the remaining blades to the traced profile.

9. Retighten the hub to the torque specs detailed below per hub size.
10. Reinstall the fan or any duct pieces that were removed.
11. Review the Operation and Start-Up procedures listed earlier in this manual.
12. After start-up, make a final check of the fan amps to ensure the motor is not overloaded.

Torque Specifications for Bushings and Propeller Bolts



HUB SIZE: 160 mm

Bushing bolts 9 ft-lb / 12.2 N-m
Propeller bolts 7 ft-lb / 9.5 N-m

HUB SIZE: 190 mm

Bushing bolts 16 ft-lb / 21.7 N-m
Propeller bolts 7 ft-lb / 9.5 N-m



HUB SIZE: 275 mm

Bushing bolts 16 ft-lb / 21.7 N-m
Propeller bolts 21 ft-lb / 28.5 N-m

HUB SIZE: 400 mm

Bushing bolts 27 ft-lb / 36.6 N-m
Propeller bolts 40 ft-lb / 54.2 N-m



HUB SIZE: 533 mm

Bushing bolts 40 ft-lb / 54.2 N-m
Blade Nuts 125 ft-lb / 169.5 N-m

Maintenance

Once the unit has been put into operation, a routine maintenance schedule should be set up to accomplish the following:

1. Lubrication of motor.
2. Propeller, housing, and bolts on the entire fan should be checked for tightness.
3. Any dirt accumulation on the propeller or in the housing should be removed to prevent unbalance and possible damage.
4. Inspection of fan propeller and housing looking for fatigue, corrosion, or wear.

When performing any service to the fan, disconnect the electrical supply and secure fan propeller.

Motors

Motor maintenance is generally limited to cleaning and lubrication. Cleaning should be limited to exterior surfaces only. Removing dust and grease buildup on the motor housing assists proper motor cooling. Never wash-down motor with high pressure spray.

Greasing of motors is only intended when fittings are provided. Many motors are permanently lubricated for life and require no further lubrication. Motors supplied with grease fittings should be greased in accordance with the motor manufacturer's recommendations.

Fasteners and Set Screws

A periodic inspection should include checking all fasteners and bolts for tightness. Particular attention should be paid to the bushing attaching the propeller to the motor shaft and the motor to its mounting fixture.

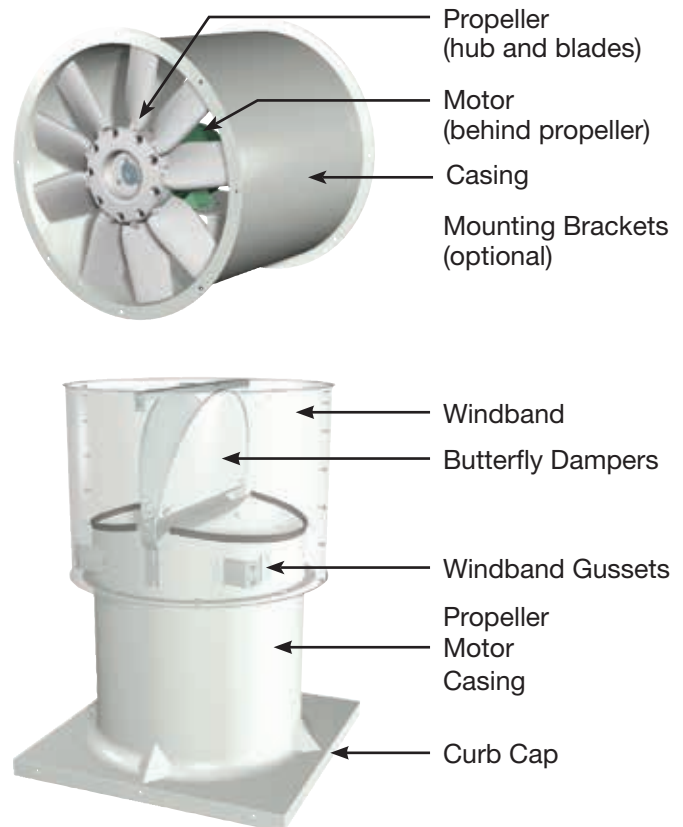
Removal of Dust and Dirt

Dirt clogs cooling openings on the motor housing, contaminates bearing lubricant, and collects on the propeller causing severe imbalance if left unchecked. The exterior surface of the motor and propeller should be thoroughly cleaned periodically. Use caution and do not allow water or solvents to enter the motor. Under no circumstances should motors be sprayed with steam or water.

Parts List

Each fan bears a manufacturer's nameplate with model number and serial number embossed. This information, in addition to the shown parts diagram, will assist the local Greenheck representative and the factory in providing service and replacement parts.

Nameplates are mounted in an area which is clearly visible, usually near the fan outlet. The exact tag location may differ with fan model and size.



Maintenance Log

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____

Date _____ Time _____ AM/PM
Notes: _____



Our Commitment

As a result of our commitment to continuous improvement, Greenheck reserves the right to change specifications without notice.

Specific Greenheck product warranties are located on greenheck.com within the product area tabs and in the Library under Warranties.

Greenheck High Performance Axial Fan catalog provides additional information describing the equipment, fan performance, available accessories, and specification data.

AMCA Publication 410-96, Safety Practices for Users and Installers of Industrial and Commercial Fans, provides additional safety information. This publication can be obtained from AMCA International, Inc. at www.amca.org.



Thinline Louver Thinline Blade

Application and Design

ESU-153 is a thinline stationary louver commonly used for interior or exterior applications where high free area and low airflow resistance is required. The narrow depth makes this product ideal for installation into curtainwalls, windows, or as air conditioning grilles.

Standard Construction

Frame Heavy gauge aluminum, 1 ½ in. x 0.063 in.
nominal wall thickness

Blades Thinline style, heavy gauge aluminum, 0.050 in.
nominal wall thickness, positioned at 30° angles on
approximately ¾ in. centers

Construction . . . Mechanically fastened

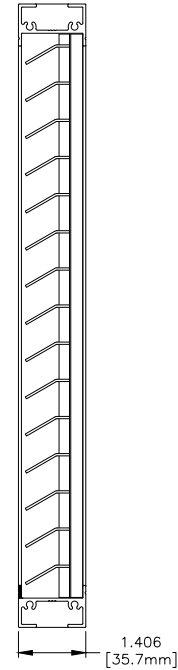
Birdscreen . . . ¾ in. x 0.051 flattened expanded aluminum in
removable frame, inside mount (rear)

Finish Mill

Minimum Size . . 13 ½ in. W x 10 in. H (without flange)
13 ½ in. W x 12 in. H (with flange)

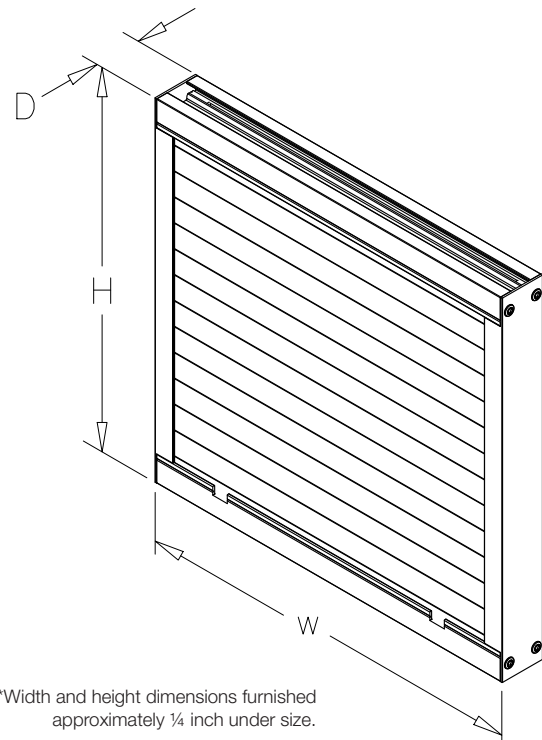
Maximum Single

Section Size . . .96 in. W x 48 in. H



Options (at additional cost)

- A variety of bird and insect screens
- Anchor brackets
- Extended sill
- Flanged frame
- Glazing adaptor
- A variety of architectural finishes including:
 - Kynar paint
 - Baked enamel paint
 - Clear anodize
 - Integral color anodize

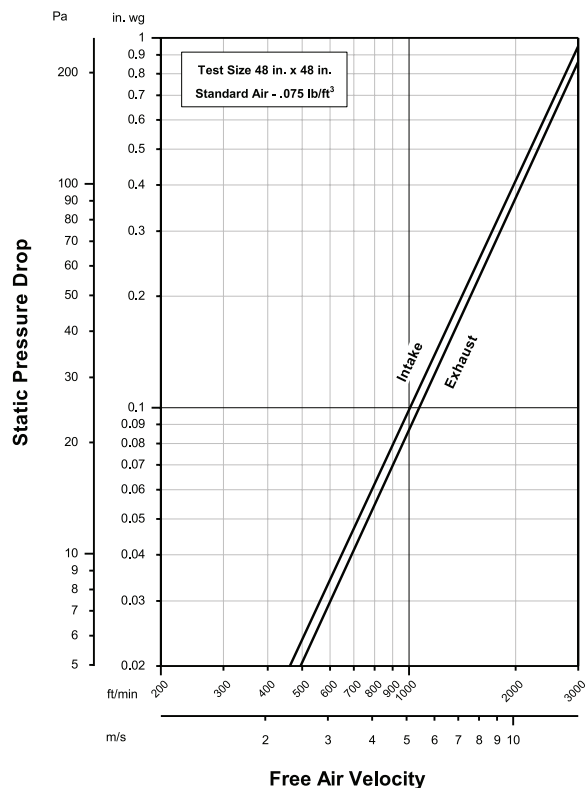


*Width and height dimensions furnished
approximately ¼ inch under size.

Free Area Chart (Sq. ft.)

Louver Height Inches	Louver Width in Inches															
	10	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96
10	0.34	0.43	0.66	0.94	1.21	1.44	1.72	2.00	2.23	2.50	2.73	3.01	3.29	3.52	3.79	4.07
12	0.43	0.54	0.83	1.17	1.52	1.81	2.15	2.50	2.79	3.13	3.42	3.77	4.11	4.40	4.75	5.09
14	0.51	0.64	0.98	1.39	1.80	2.15	2.56	2.97	3.31	3.72	4.06	4.47	4.88	5.22	5.64	6.05
16	0.59	0.75	1.15	1.63	2.11	2.51	3.00	3.48	3.88	4.36	4.76	5.24	5.72	6.12	6.60	7.08
18	0.67	0.85	1.31	1.85	2.40	2.85	3.40	3.94	4.40	4.94	5.40	5.94	6.49	6.94	7.49	8.03
20	0.75	0.96	1.47	2.08	2.69	3.20	3.81	4.42	4.93	5.54	6.05	6.67	7.28	7.79	8.40	9.01
22	0.84	1.06	1.63	2.31	2.99	3.56	4.24	4.92	5.48	6.16	6.73	7.41	8.09	8.66	9.34	10.02
24	0.92	1.17	1.79	2.53	3.28	3.90	4.64	5.39	6.01	6.75	7.37	8.12	8.87	9.49	10.23	10.98
26	1.00	1.27	1.95	2.77	3.58	4.26	5.08	5.89	6.57	7.39	8.07	8.88	9.70	10.37	11.19	12.00
28	1.08	1.38	2.11	2.99	3.87	4.60	5.48	6.36	7.09	7.97	8.71	9.59	10.47	11.20	12.08	12.96
30	1.17	1.48	2.27	3.22	4.17	4.96	5.91	6.85	7.64	8.59	9.38	10.33	11.28	12.07	13.02	13.96
32	1.25	1.59	2.43	3.45	4.46	5.31	6.32	7.34	8.18	9.19	10.04	11.05	12.07	12.91	13.93	14.94
34	1.33	1.69	2.59	3.67	4.75	5.65	6.73	7.81	8.71	9.79	10.69	11.77	12.85	13.75	14.83	15.91
36	1.41	1.80	2.76	3.90	5.05	6.01	7.16	8.31	9.27	10.42	11.37	12.52	13.67	14.63	15.78	16.93
38	1.49	1.90	2.91	4.13	5.34	6.35	7.57	8.78	9.79	11.01	12.02	13.23	14.45	15.46	16.67	17.89
40	1.58	2.01	3.08	4.37	5.65	6.72	8.01	9.29	10.37	11.65	12.72	14.01	15.29	16.36	17.65	18.94
42	1.66	2.11	3.23	4.58	5.93	7.06	8.40	9.75	10.88	12.23	13.35	14.70	16.05	17.17	18.52	19.87
44	1.74	2.21	3.39	4.81	6.23	7.41	8.82	10.24	11.42	12.83	14.01	15.43	16.84	18.02	19.44	20.86
46	1.83	2.32	3.56	5.04	6.52	7.76	9.24	10.73	11.96	13.45	14.68	16.17	17.65	18.89	20.37	21.86
48	1.91	2.42	3.71	5.26	6.81	8.10	9.65	11.20	12.49	14.04	15.33	16.88	18.43	19.72	21.27	22.82

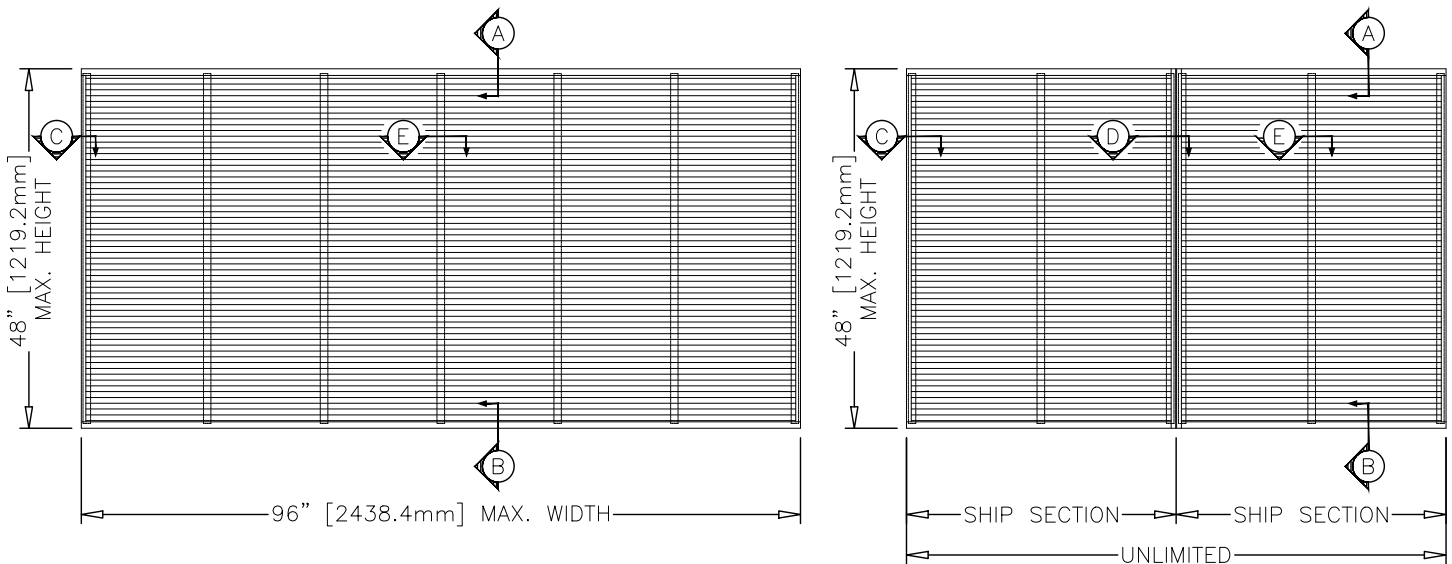
Airflow Resistance (Standard Air - .075 lb/ft³)



Model ESU-153 resistance to airflow (pressure drop) varies depending on louver application (air intake or air exhaust). Free area velocities (shown) are higher than average velocity through the overall louver size. See louver selection information.

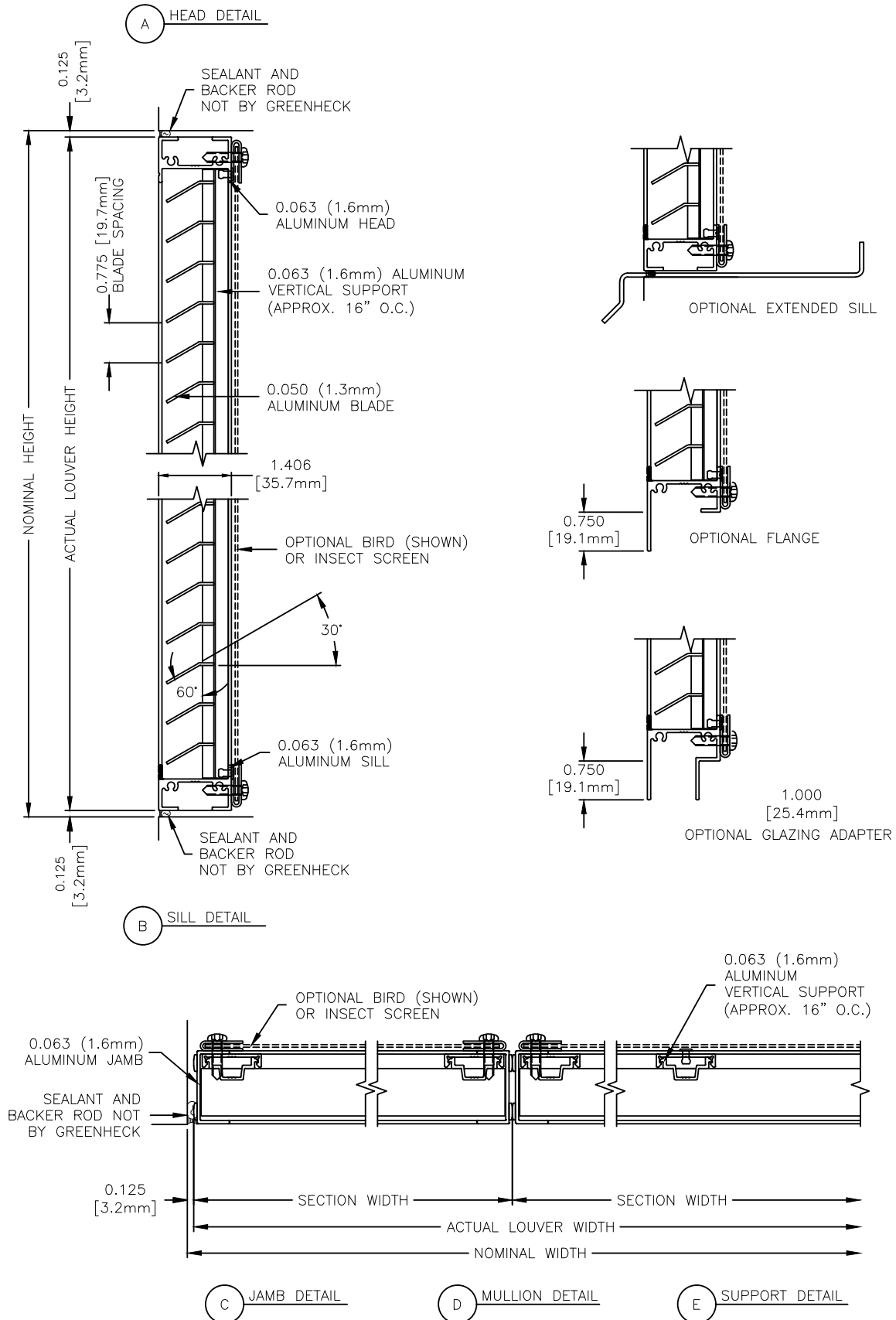
Maximum Size and Installation Information

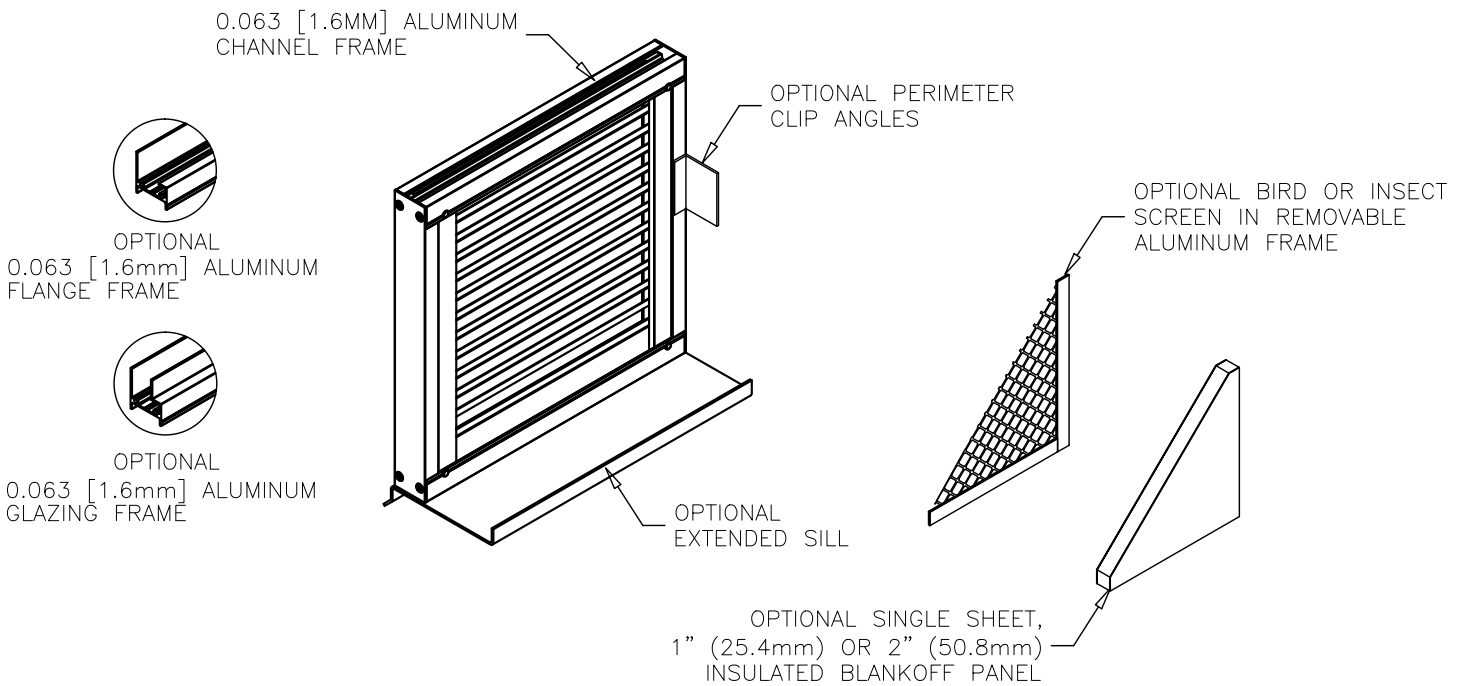
Maximum single section size for model ESU-153 is 96 in. W x 48 in. H. Larger openings require field assembly of multiple louver panels to make up the overall opening size. Structural reinforcing members may be required to adequately support and install multiple louver sections within a large opening. Structural reinforcing members along with any associated installation hardware is not provided by Greenheck unless indicated otherwise by Greenheck. Options and accessories including, but not limited to, screens, filter racks, louver doors, and blank off panels are not subject to structural analysis unless indicated otherwise by Greenheck. Additional information on louver installation may be found in AMCA Publication #501, Louver Application Manual.



Minimum Single Section Size
13 ½ in. W x 10 in. H (without flange)
13 ½ in. W x 12 in. H (with flange)

Maximum Single Section Size
96 in. W x 48 in. H





FINISHES

Finish Type	Description/Application	Color Selection	Standard Warranty (Aluminum)
2-coat 70% KYNAR 5000®/HYLAR 5000® AAMA 2605 – Dry film thickness 1.2 mil. (AKA: Duranar®, Fluoropon®, Trinar®, Flouropolymer, Polyvinylidene Fluoride, PVDF2)	“Best.” The premier finish for aluminum. Tough, long-lasting coating has superior color retention and abrasive properties. Resists chalking, fading, chemical abrasion and weathering.	Standard Colors: Any of the 24 standard colors shown can be furnished in 70% or 50% KYNAR 5000®/HYLAR 5000® or Baked Enamel. 2-Coat Mica: Greenheck offers 9 standard 2-coat Mica colors. Other colors are available. Consult Greenheck for possible extra cost when selecting non-standard colors or special finishes.	10 Years (Consult Greenheck for availability of extended warranty)
2-coat 50% KYNAR 5000®/HYLAR 5000® AAMA 2604 – Dry film thickness 1.2 mil. (AKA: Acroflur®, Acrynar®)	“Better.” Tough, long-lasting coating has excellent color retention and abrasive properties. Resists chalking, fading, chemical abrasion and weathering.		5 Years
Baked Enamel AAMA 2603 – Dry film thickness 0.8 mil. (AKA: Acrabond Plus®, Duracron®)	“Good.” Provides good adhesion and resistance to weathering, corrosion and chemical stain.		1 Year
Integral Color Anodize AA-M10C22A42 (>0.7 mil)	“Two-step” anodizing is produced by following the normal anodizing step with a second, colorfast process.	Light, Medium or Dark Bronze; Champagne; Black	5 years
Clear Anodize 215 R-1 AA-M10C22A41 (>0.7 mil)	Clear, colorless and hard oxide aluminum coating that resists weathering and chemical attack.	Clear	5 years
Clear Anodize 204 R-1 AA-M10C22A31 (0.4-0.7 mil)	Clear, colorless and hard oxide aluminum coating that resists weathering and chemical attack.	Clear	1 Year
Industrial coatings	Greenheck offers a number of industrial coatings such as Hi-Pro Polyester, Epoxy, and Permatector®. Consult a Greenheck Product Specialist for complete color and application information.		Consult Greenheck
Mill	Materials may be supplied in natural aluminum or galvanized steel finish when normal weathering is acceptable and there is no concern for color or color change.		n/a

Finishes meet or exceed AAMA 2605, AAMA 2604, and AAMA 2603 requirements. Please consult www.greenheck.com for complete information on standard and extended paint warranties. Paint finish warranties are not applicable to steel products.

